

鄂西渝东地区中-新生代构造变形及其对油气保存的制约

易积正¹,包汉勇^{1,2},李以严^{1,2},张道洪^{1,2},秦军^{1,2},谢洪光^{1,2}

(1. 中国石化江汉油田分公司,湖北潜江433100;2. 中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院,湖北武汉430070)

摘要:油气成藏跟构造息息相关,研究构造及油气保存条件在油气勘探中具有重要作用。研究了鄂西渝东地区断裂发育特征及构造样式的差异分布,划分了构造单元,描述了断裂、构造类型及演化,分析了构造对保存条件的影响。研究表明:鄂西渝东中扬子地块南部构造带西部中生代以来经历了多期盆-山耦合构造作用,构造变形强度大,发育基底卷入型和盖层滑脱型断层。提出了该复杂构造区油气保存条件评价的方法。评价认为齐岳山断层以西保存条件好于东侧,以万县复向斜的保存条件最好,其次为石柱复向斜。湘鄂西褶皱带以利川构造带保存条件最好,其次为恩施构造带,南北镇-桑植石门构造带最差。该研究成果在红星地区、宜恩地区页岩气、致密气、岩溶体油气勘探中的应用取得了较好的效果。

关键词:保存条件;构造样式;复杂构造;中-新生代;红星地区;鄂西渝东

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Meso-Cenozoic structural deformations and their impacts on hydrocarbon preservation in the western Hubei-eastern Chongqing area

YI Jizheng¹, BAO Hanyong^{1,2}, LI Yiyan^{1,2}, ZHANG Daohong^{1,2}, QIN Jun^{1,2}, XIE Hongguang^{1,2}

(1. Jiangnan Oilfield Company, SINOPEC, Qianjiang, Hubei 433100, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jiangnan Oilfield Company, SINOPEC, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Since hydrocarbon accumulation is closely associated with structures, examining structures and hydrocarbon preservation conditions is significant for hydrocarbon exploration. In this study, we explore the fault characteristics and the differential distribution of structural styles in the western Hubei - eastern Chongqing area and classify the structural units in this area. Furthermore, we describe the types and evolution of faults and other geological structures in this area and analyze their impacts on hydrocarbon preservation. The results reveal that the western portion of the southern structural zone of the middle Yangtze Block in this area has undergone multi-stage basin-orogen couplings since the Mesozoic. This has led to a high intensity of structural deformations and the formation of basement-involved faults and cap rock-detachment faults. A method to assess the hydrocarbon preservation conditions in this structurally complex area is proposed in this study. The assessment results suggest that areas west of the Qiyueshan fault are more favorable compared with those east of it in hydrocarbon preservation. Among others, the Wanxian synclinorium displays the optimal preservation conditions, followed by the Shizhu synclinorium. In the western Hunan-Hubei fold belt, the Lichuan structural belt demonstrates the most favorable conditions for hydrocarbon preservation, succeeded by the Enshi structural belt, with the Nanbei Town-Sangzhi Shimen structural belt exhibiting the least favorable conditions. The findings of this study have proven effective in exploring shale gas, tight gas, and karst reservoirs in the Hongxing and Yi'en areas.

Key words: preservation condition, structural style, complex structure, Meso-Cenozoic, Hongxing area, western Hubei-eastern Chongqing area

收稿日期:2024-02-27;修回日期:2024-05-16。

第一作者简介:易积正(1962—),男,博士、教授级高级工程师,常规-非常规油气地质学理论研究、油气勘探与开发。E-mail:498703979@qq.com。

通信作者简介:李以严(1981—),男,副研究员,地球物理研究与应用。E-mail:liyiy.jhyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技项目(P24050)。

引用格式: 易积正, 包汉勇, 李以严, 等. 鄂西渝东地区中-新生代构造变形及其对油气保存的制约[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(3): 684-695.

DOI: 10. 11743/ogg20240308.

YI Jizheng, BAO Hanyong, LI Yiyan, et al. Meso-Cenozoic structural deformations and their impacts on hydrocarbon preservation in the western Hubei-eastern Chongqing area[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(3): 684-695. DOI: 10. 11743/ogg20240308.

在受控于两个世代、两种体制的中国大地构造背景下, 古老海相克拉通在成盆后, 经历了多旋回构造运动和强烈后期改造, 盆地结构与成藏不同于国外单旋回盆地或多旋回连续继承型盆地, 具多期成藏、多成藏组合、差异富集的油气地质特征, 从而时间上构成多构造-成藏旋回, 空间上形成多勘探“黄金带”, 成为了中国深层、乃至超深层油气勘探的重要领域与方向^[1-4]。

在 Rodina 和 Pangea 两大构造旋回作用之下, 中扬子克拉通发育多套成藏组合, 资源潜力大, 勘探面积广。但中生代以来, 受特提斯以及太平洋构造域影响, 在多盆-山体系的非均一性作用下, 中扬子海相克拉

通经历了多期不同性质的构造交接变动, 致使海相油气发生多期调整改造乃至破坏, 保存成为中扬子海相油气富集的关键^[5-8](图1, 图2)。为了研究中国南方海相油气保存条件, 国内多位学者提出了以“油气保存单元”来取代传统的“构造地质单元”的评价思路和方法, 提出了寻找“整体封存条件下的有效成藏组合”, 确立了持续型、重建型、保持型、推覆型、残余型和肢解型等6种油气保存单元, 并相应建立了油气保存与破坏模式。从制约保存条件的根本因素——构造作用, 以及反映保存结果的微观要素——水文条件入手, 构建了中扬子、乃至中国南方海相的油气保存评价标准。优选出江南-雪峰构造域中, 以前寒武系为区域滑脱

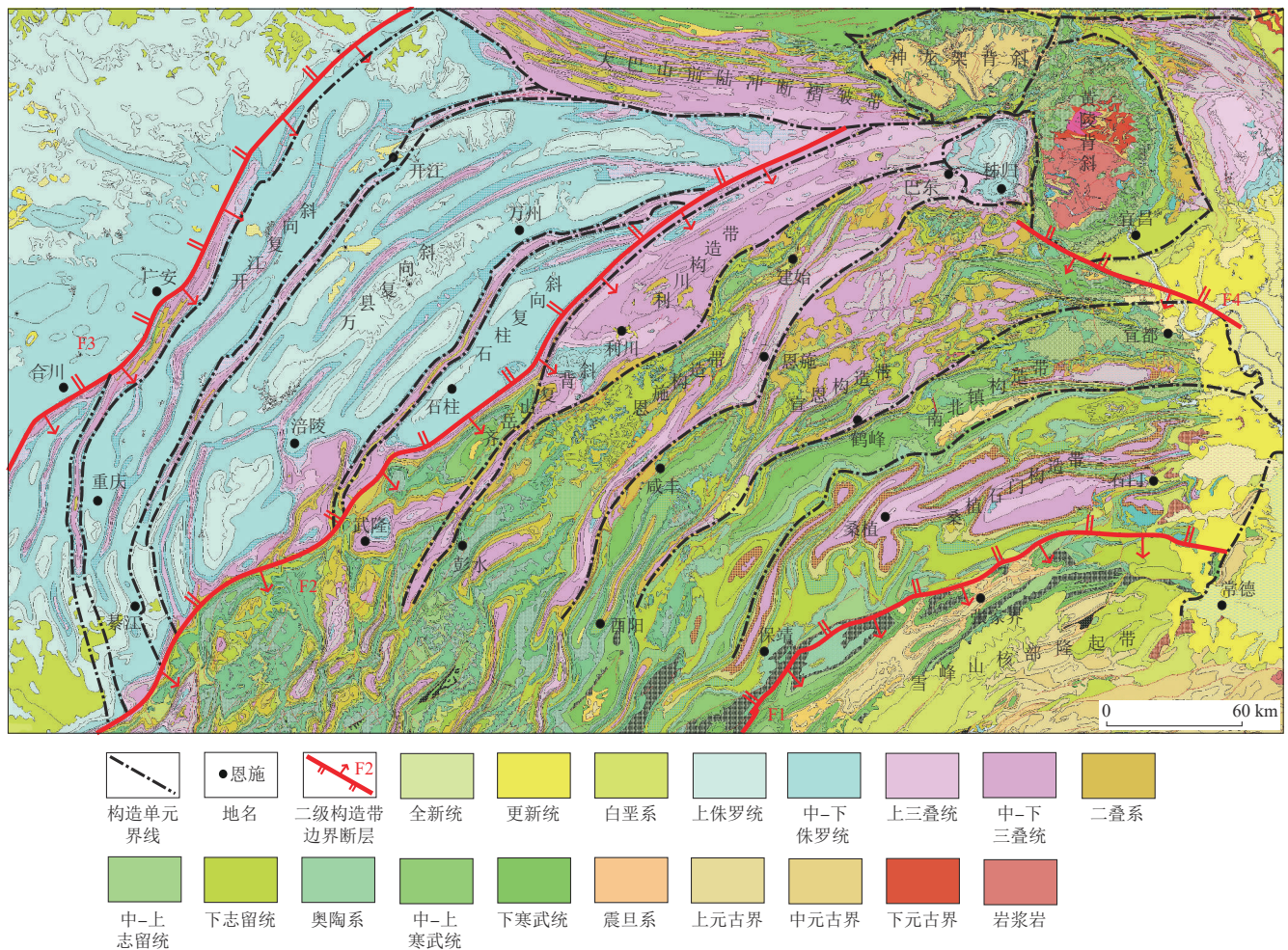


图1 中扬子西部及周缘构造单元划分

Fig. 1 Division of structural units in the western portion of the middle Yangtze Block and its peripheral areas

F1. 慈利-保靖断层; F2. 齐岳山断层; F3. 华蓥山断层; F4. 天阳坪断层

保存条件开展评价,助推该区油气富集规律的深入认识,明确该区下步油气勘探方向。

1 区域构造及演化

中生代以来,受制于南、北造山作用,中扬子地区发育2大构造体系,相应形成北部构造带(巴洪弧形构造带)、中部南北对冲带(秭归-大冶对冲构造带)和南部构造带(八面山弧形构造带)等3个构造域。

南部构造带(八面山弧形构造带)主体主要受南部江南-雪峰陆内造山带作用形成,呈现向北凸出的弧形构造。该构造带西达四川盆地华蓥山断裂,东至郯庐断裂带,北与大巴山-大洪山弧形构造带呈对冲交接关系,东部对冲挤压作用强烈,西部相对较弱,与大巴山弧形构造带收敛过渡。该构造带被北西向展布的天阳坪断裂分割成东、西2个大的构造区块,西部湘鄂西-川东褶皱带以宽缓的隔槽式-隔挡式构造为主,东部洪湖-通山前陆冲断带以紧闭倒转褶皱为主。

鄂西渝东地区所处的湘鄂西-川东褶皱带,自南东向北西,具有显著递进变形特征,而且构造变形方式和强度均呈规律性变化。鹤峰-龙山、建始-彭水、齐岳山以及华蓥山断层将湘鄂西-川东褶皱带分为4个形变带,即冲断带、挤压断褶带、冲断-滑脱过渡带和前缘盖层断褶-滑脱带^[18-21]。由于边界条件、介质性质、形变层和构造部位的差异,致使不同构造带构造变形方式与强度不尽一致。

桑植-石门构造带与南北镇构造带同属冲断带,表现为基底冲断褶皱,叠瓦式逆冲、背冲、对冲明显,以背冲为主。挤压褶皱带包括恩施构造带与宣恩构造带,处于建始-彭水断层上盘,表现为滑脱推覆隔槽式

褶皱,为随断裂带的生成爬坡与延展而形成的断层扩展相关褶皱。冲断-滑脱过渡带,即为湘鄂西褶皱带与川东褶皱带之间的递进变形转换带,包括利川构造带与齐岳山复背斜,构造变形复杂,褶皱紧闭,断层破坏较强。利川滑脱褶皱带向南延伸,则可与黔北的道真滑脱褶皱带相连接^[22-23]。处于川东褶皱带的前缘盖层断褶-滑脱带,以台阶式断层滑脱推覆为主,主要为隔挡式褶皱,滑脱层主要为寒武系(图3)。

自中三叠世末以来,中扬子地区受到来自东南方向江南-雪峰古陆的持续挤压,发生了大规模的由南东向北西的推覆作用,变形作用从江南-雪峰古陆经湘西北至川东逐步递进扩展,且冲断作用的强度逐渐减低。根据构造变形特征、地层接触关系以及构造年代学数据,中扬子地区中-新生代构造演化可划分为4个时期:印支期、早燕山期、中燕山期、晚燕山期—喜马拉雅期。印支期江南-雪峰隆起,江南-雪峰造山带以西为大隆大坳构造格局,具有穿时特征,由南东向北西递进变形,强度递减;早燕山期大巴山隆起,同时主要受江南-雪峰造山带南东向的挤压应力作用,陆内构造强烈褶皱变形,形成湘鄂西褶皱带构造格局;中燕山期,褶皱作用传递至华蓥山断裂处,发育形成川东褶皱带(图4);晚燕山期—早喜马拉雅期,构造变形以水平断块作用及垂向隆升作用为主,同时鄂西发生弱拉张作用。

2 鄂西渝东构造与油气保存差异

鄂西渝东地区横跨湘鄂西-川东褶皱带,整体表现为侏罗山式构造褶皱特征。构造特征东、西差异明显,同时受制于周缘构造边界的差异复合与联合,南北向构造变形亦存在一定的差异性。

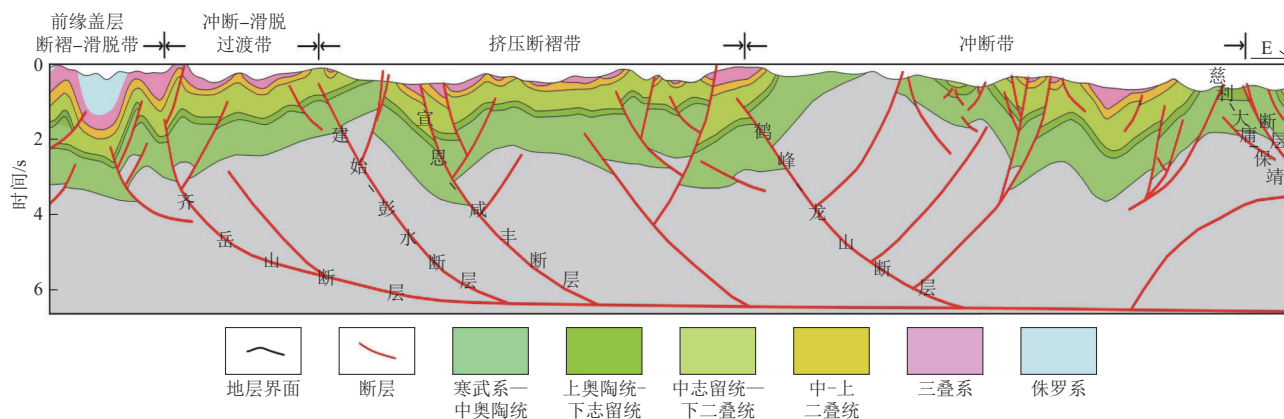


图3 湘鄂西-川东褶皱带构造剖面

Fig. 3 Structural section of the eastern Sichuan-western Hunan-Hubei area

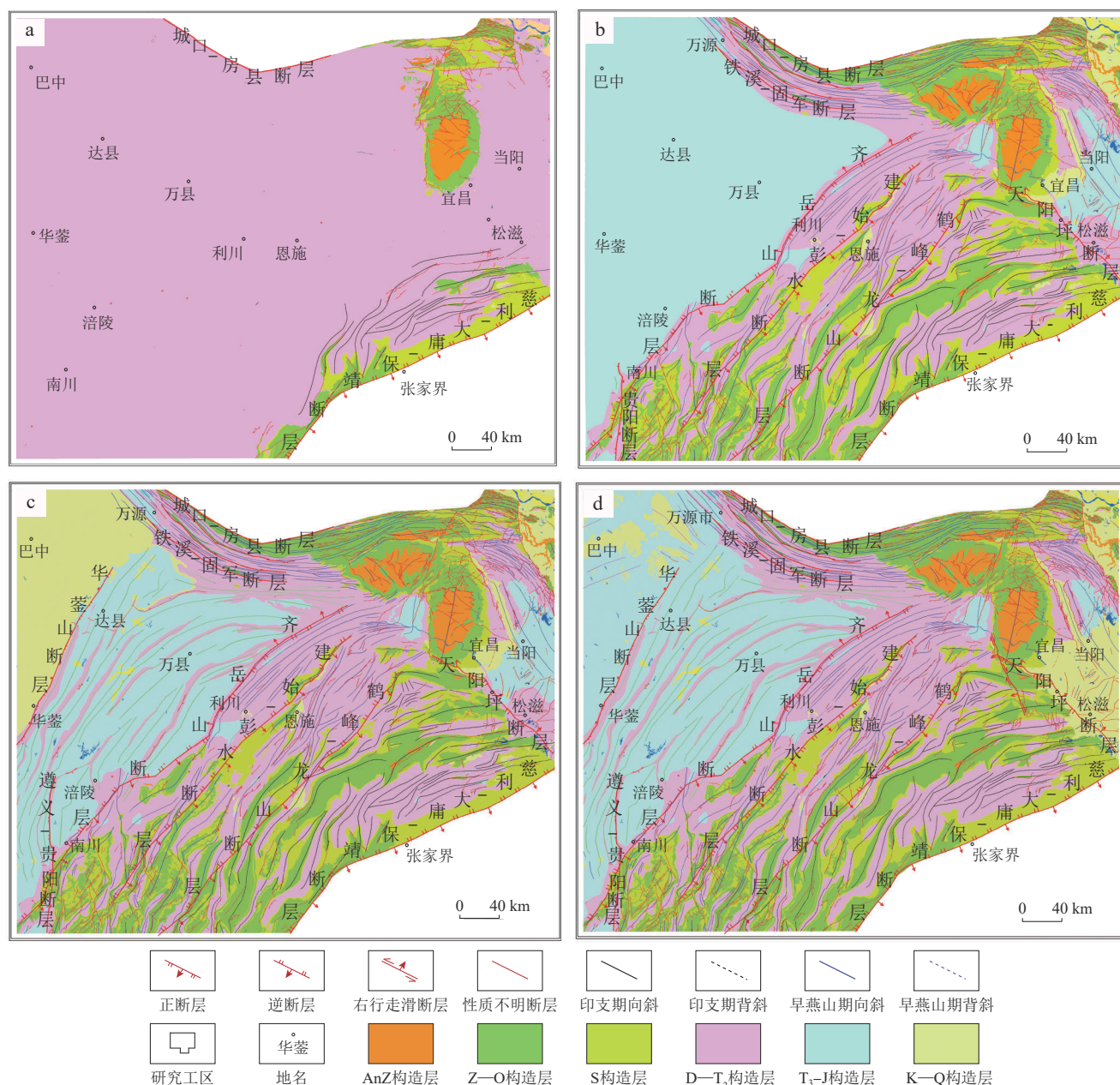


图4 中扬子西部及邻区主要构造运动期构造纲要

Fig. 4 Structural outline maps of primary tectonic movement periods in the western portion of the middle Yangtze Block and its peripheral areas

a. 印支期; b. 早燕山期; c. 中燕山期; d. 晚燕山期—喜马拉雅期

2.1 构造变形特征差异

2.1.1 南东-北西向构造变形特征

由于在统一的构造应力-应变场控制下形成,湘鄂西-川东褶皱带具有显著的南东强北西弱的递进变形特征,而且构造变形呈显著的规律性^[24-28]。

鹤峰-龙山断层与慈利-保靖断层之间的冲断带,在江南-雪峰陆内造山的强烈挤压作用与黄陵隆起阻

挡的联合作用下,发生强烈冲断作用,断层发育,冲断作用以及隆升剥蚀作用强烈。该构造带发生构造联合作用,由北北东向与近东西向构造联合而形成,整体向北东方向发散,向南西方向收敛,成一喇叭状。由南西至北东,构造走向由北北东向转为近东西向,并向北西向突出,呈弧形弯曲,体现了江南-雪峰造山带和黄陵隆起对该区构造体系的联合作用。

建始-彭水断层与鹤峰-龙山断层一带的挤压断褶带,所受挤压作用较冲断带弱,因此褶皱较为发育。

挤压断褶带内背斜呈宽阔箱状特征,核部主要出露寒武系-奥陶系,基底新元古界部分卷入;向斜呈狭窄、不对称特征,或呈倒转、线状特征,核部主要由上古生界及中生界组成。由东南向西北褶皱的强度逐渐减弱,隆升幅度逐渐减小,核部出露地层由老变新。部分逆断层燕山晚期发生负反转成为正断层。

齐岳山断层与建始-彭水断层之间为区域性滑脱层转换带,即自东向西区域性滑脱层由前寒武系转换为寒武系,其滑脱层呈阶梯状向上传递位移。处于雪峰段逆冲推覆构造西北缘的峰带,构造变形较为强烈,变形方式为冲断和滑脱。齐岳山断层南北段结构不尽一致,亦表现为冲断与滑脱作用。在北部的利川地区及周边,齐岳山断层主体以滑脱作用为主,即在沿寒武系滑脱层发生滑脱作用,同时局部发生断展作用;在涪陵白马地区及周边,齐岳山断层发生强烈冲断作用。

齐岳山断层以西的川东褶皱带也称川东高陡构造带,平面上具“S”形展布特征,构造走向自北向南由北东—北北东—北东向转变,构造具背斜窄陡、向斜宽缓的隔挡式构造样式特征,局部构造呈雁列式排列。断裂主要发育于高陡背斜两翼,其他广大向斜区断裂不发育。

纵向上,川东褶皱带断裂总体发育程度低,冲断作用较弱。在高陡背斜两翼主要发育盖层滑脱型断层,断层滑脱面位于中寒武统、志留系和下三叠统嘉陵江组膏盐层,形成分层滑脱特点,多表现为“之”字型断层,断层向上多消失于嘉陵江组而很少进入侏罗系,导致嘉陵江组上、下构造具有明显的变异,发育上、中、下3个构造变形层。①上部构造层(中-上三叠统一侏罗系)变形弱,在侏罗系覆盖区,地面构造简单,多表现为单斜或简单背斜和向斜,无断裂或少见断裂;②中部构造层(志留系一下三叠统)变形较强,由于受断裂作用,常形成垒堑式结构,对冲式和背冲式断裂往上大多滑脱于嘉陵江组膏质岩中,往下滑脱于志留系砂泥岩中;③下部构造层(震旦系—奥陶系)变形相对较弱,褶皱

幅度较低。这种上、中、下构造变形层不协调的现象主要出现在方斗山和齐岳山等高陡背斜带两翼断裂发育部位,而复向斜内部因受力强度相对较弱,构造纵向变异程度小,如红星地区的石柱复向斜内部局部构造建南背斜,其构造幅度低缓,断裂不发育,上、下变形层高点位置和形态基本一致,构造变异程度弱。

总体上,川东褶皱带背斜区构造变形强度较强,向斜区变形弱,剖面上构造形成了隔挡式构造样式特征,背斜紧闭,断裂发育,隆升幅度较大,正向构造核部多出露三叠系;向斜区侏罗系地层连片分布,构造宽缓,断裂不发育。

2.1.2 南北向构造变形特征

受边界条件差异性制约,湘鄂西-川东构造带空间上呈弧形结构。弧形构造在弧顶至翼部,构造变形逐渐减弱。

基于构造行迹空间展布特征,湘鄂西弧形构造的弧顶位于涪陵—武隆—彭水一带,由弧形至南、北翼部,构造变形逐渐减弱,因此湘鄂西北段构造带的宽度较弧顶处宽,断裂褶皱作用较弱。对于各个北东向的构造带,由弧顶至翼部变形均逐渐减弱,但是由于受到北部构造的联合作用,弧形翼部具有一定的构造逃逸,从而形成系列走滑断层(图5)。

2.2 油气保存条件评价

2.2.1 保存条件评价体系

勘探家和学者们一致认识到,中扬子乃至南方地区油气勘探的关键是油气的保存条件,并提出了以“油气保存单元”来取代传统的“构造地质单元”的评价思路和方法,提出了寻找“整体封存条件下的有效成藏组合”。胡晓风等(2002)从横向和纵向上对江汉盆地油气保存单元基本类型进行了划分,纵向上根据盖层的保留情况可划分为志留系、巴东组、侏罗系上三叠统和



图5 八面山弧形构造北翼小型走滑断层野外剖面照片

Fig. 5 Small strike-slip fault on outcrop of the northern wing of the Bamian Mountain arcuate structural belt

a. 右行平移断层,长阳县渔峡口镇西2.5 km,泥盆系;b. 左行平移断层,长阳县清江锁风湾渡口,二叠系茅口组

白垩系-古近系4套保存单元;横向上可归纳为3种类型:加强型、保持型和重建型。田海芹教授等(2002)则按保存条件的优劣,将南海相油气保存单元划分为6大类:持续型、重建型、残余型、保持型、推覆型和肢解残留型^[29-33]。

油气保存单元作为一个构造变形与油气藏之间的过渡概念,肯定了保存条件的好坏是南方能否找到油气藏的关键及应该寻找“整体封存条件下的有效成藏组合”,不同于传统的地质构造单元,它与盆地、含油气系统、油气成藏组合与圈闭之间既有交叉也有重叠,其提供了一种新的研究和评价南海相油气保存条件的思路和方法。但是油气保存单元也还存在着一些不足,油气保存单元的评价应该专指保存条件的评价,目前多数学者对油气保存单元进行评价时,更多地侧重了油气的生、储、盖、圈、运、保等成藏条件的综合评价,而在研究保存条件时,常常是孤立地研究各个因素,实际上构成保存条件的诸因素是一个有成因联系的链;同时,关于油气保存单元的概念及评价依然是定性的,主要依据构造稳定性及盖层的保存状况,并据此确定其边界和准确的范围,但难度较高且操作性也较低,特别是对于次级构造单元或局部构造保存条件的评价。

在系统地分析构造差异变形及构造形变带划分研究的基础上,根据制约油气散失的构造因素,优选构造变形方式、构造变形强度、盖层及其有效性和断裂作用等主要参数,其中构造变形强度包括横向收缩率和剥蚀厚度,即整体评价采用定性与定量相结合的方法,采用专家打分法,来构建油气保存评价体系。该评价标准主要针对鄂西渝东构造复杂区,评价结果与近几年钻井勘探揭示油气保存情况较吻合,形成了鄂西渝东地区具有创新性的有效的油气保存条件评价方法。

根据油气纵横向运移散失的机制,构造变形强的区带总体上构造稳定性差、地层完整性差,不利于油气整体保存。表征该区构造变形强烈的构造样式是冲断构造样式,构造类型是小断块或紧闭型构造等,地层横向收缩率高、剥蚀厚度大等。油气保存条件评价的构造变形权重较大,分值为0.40,其中构造样式和构造类型共占0.25,横向收缩率和剥蚀厚度的共占0.15。盖层及有效性、断裂作用是制约油气散失的其他两个重要参数,油气保存条件评价的盖层条件分值为0.30,主要包含盖层面积、岩性和厚度;断裂作用的分值为0.30,主要包括断裂性质和密度(表1)。结合已有油气勘探成果,构建的油气保存条件评价体系综合评价指标总分值 ≥ 0.6 ,油气保存条件一般较好;总分

值 < 0.6 ,则油气保存条件较差。

构造变形总体较弱的构造相对稳定带,断裂较不发育、地层完整、构造形态完整、盖层岩性好及厚度大的目标区,评价油气保存条件好。后期构造相对稳定和适中的构造隆升和剥蚀幅度,具有自生自储能力的页岩气保存条件好,能形成富集程度高的页岩气藏。构造变形弱、形态较完整的背斜构造类型等优质圈闭,上覆盖层未剥蚀,保存条件较好,有利于包括通源断层、侧向运移等供烃形成晚期常规油气藏^[34-37]。

2.2.2 保存条件评价

本文以鄂西渝东地区三级构造单元为基础评价油气保存条件。构造单元划分主要是依据构造形态展布、差异构造变形、局部构造组合、局部构造及控制断层、边界断层等因素划分,划分原则和结果不尽相同。这里以常用划分结果开展分析,即鄂西渝东地区的川东褶皱带主要划分了万县复向斜、方斗山复背斜和石柱复向斜3个三级构造单元,齐岳山复背斜是川东褶皱带的东边界。鄂西渝东地区的湘鄂西褶皱带主要划分了利川构造带、恩施构造带和宣恩构造带3个三级构造单元(图6)。

该区三级构造单元较好体现了构造特征的差异性,其差异性主要由构造变形机制引起,即该区主要受江南-雪峰陆内造山带南东向的挤压应力作用形成前展式构造变形,构造变形强度东强西弱,致使各构造单元的构造变形、构造样式、断裂作用及盖层情况等具差异性,这些构造参数也是油气保存条件的主要影响参数。

1) 桑植石门构造带及南北镇构造带

桑植石门构造带紧邻江南-雪峰造山带,南北镇构造带位于桑植石门构造带以西,两个构造带为冲断构造样式,逆冲以及反冲断层发育,断层具有压扭性质。西部发育主控断层鹤峰断层,该断层北东东走向,倾向南南东,自基底发育断至志留系,最大断距大于3 000 m,冲断作用强。构造类型主要为冲断断块和紧闭向斜等,局部构造多被断层改造,地表大面积出露志留系,总体构造变形强度大。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.49,保存条件相对较差。

2) 宣恩构造带

位于桑植石门构造带的西面,表现为挤压断褶构造样式,逆冲断层发育,局部发育走滑断层。西部发育主控断层长岭岗断层,该断层北东走向,倾向南东,自基底发育断至志留系,最大断距大于2 000 m,冲断作

表1 鄂西渝东地区海相油气保存条件评价

Table 1 Assessment results of hydrocarbon preservation conditions in marine sequences in the western Hubei-eastern Chongqing area

构造单元		评价参数										综合评价 价指标
		盖层及有效性(0.30)			断裂作用(0.30)		构造变形方式(0.25)			构造变形强度(0.15)		
二级	三级	盖层面积 占比/% (0.3)	盖层岩性 (0.3)	盖层 厚度/m (0.4)	断层性质 (0.4)	断层 密度 (0.6)	构造样式 (0.5)	构造类型 (0.2)	产状 (0.3)	横向 伸缩率/% (0.4)	剥蚀厚度/m (0.6)	1.00
湘鄂 西褶 皱带	南北镇- 桑植石门 构造带	40	膏盐、 粉泥岩	60 ~ 100	压扭断层、 少许正断层	高	挤压 冲断	冲断断块、 紧闭向斜	窄陡	-22.0	3 000 ~ 7 500	0.49
	宣恩 构造带	60	膏盐、 粉泥岩	70 ~ 150	压扭断层、 少许正断层	中	挤压 断褶	冲断断块和 似箱状构造	窄陡、 较宽缓	-9.2	3 000 ~ 6 500	0.54
	恩施 构造带	70	膏盐、 粉泥岩	70 ~ 170	挤压、走滑 断层、少许 正断层	中	挤压 断褶	冲断断块、 紧闭向斜	窄陡、 较宽缓	-8.0	3 000 ~ 6 000	0.60
	利川 构造带	80	膏盐、 泥岩	130 ~ 180	挤压断层、 少许正断层	小	冲断- 滑脱 过渡带	背斜、向斜	较宽缓	-6.5	3 000 ~ 5 500	0.71
川东 褶皱 带	石柱 复向斜	100	膏盐、 泥岩	>200	隐冲断层	小	滑脱 断褶	背斜、箱状 向斜	宽缓	-5.8	2 000 ~ 4 000	0.88
	万县 复向斜	100	膏盐、 泥岩	>200	隐冲断层	小	滑脱 断褶	箱状背斜、 箱状向斜	宽缓	-5.5	2 000 ~ 3 500	0.92

注:表中括号内为分值权重分值。

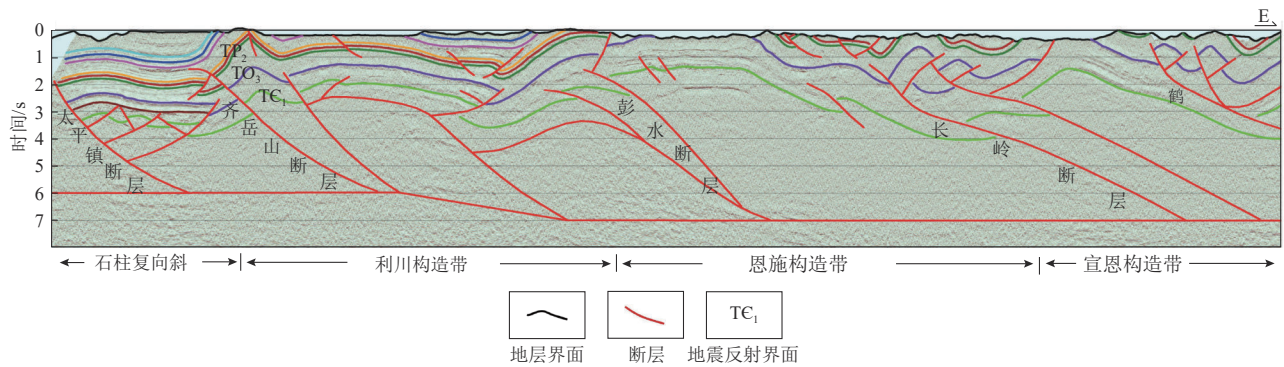


图6 鄂西渝东地区地震解释剖面叠合构造单元

Fig. 6 Seismic interpretation profile with superimposed structural units of the western Hubei-eastern Chongqing area

用强。该构造带北部反冲断层较不发育,反冲作用较弱,构造较宽缓,构造类型主要有冲断断块和似箱状构造等,地表较大面积出露志留系,构造变形较强。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.54,保存条件相对较差。

3) 恩施构造带

位于宣恩构造带西面,同样表现为挤压断褶构造样式,逆冲断层较发育,局部发育走滑断层。西部发育主控断层彭水断层,该断层北东走向,倾向南东,自基底发育断至寒武系,最大断距大于1 500 m,冲断作

用强。构造类型主要有冲断断块、紧闭向斜等,地表较大面积出露志留系,总体构造变形较强,但志留系及以上沉积层断裂相对较不发育,向斜西翼较缓。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.60,保存条件较好。湖北省地质局2023年在恩施市七里坪镇所布置的恩页2井,在二叠系获得页岩气的重大突破,其中大隆组含气量为4.30 m³/t,孤峰组含气量为5.02 m³/t。

4) 利川构造带

为冲断-滑脱过渡带,褶皱改造作用弱,反冲作用

弱,逆冲断层发育较少,地层剥蚀程度低,地表主要出露三叠系-侏罗系,构造类型主要有背斜、向斜,局部构造形态完整,翼部斜坡产状较缓,总体构造变形较弱。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.71,保存条件较好。

5) 石柱复向斜带

位于齐岳山西断层以西的红星地区,构造样式为滑脱断褶,发生三重滑脱作用,空间上形成3个构造形变层,中、上构造形变弱,下构造层断裂较发育,变形较强。地表主要出露侏罗系,构造类型主要为宽缓背斜(如建南背斜)和箱形向斜,局部发育窄陡构造,构造变形总体弱。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.88,保存条件好。江汉油田近两年在石柱复向斜建南区块的二叠系吴家坪组吴二段及茅口组茅四段获得页岩气的重大突破,部署一批页岩气钻探井获得 $(5 \sim 30) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业气流。

6) 万县复向斜

构造样式为滑脱断褶,发生三重滑脱作用,空间上形成3个构造形变层,中、上构造形变均较弱,断裂较不发育,构造类型主要为宽缓箱形背斜(如涪陵地区焦石坝背斜)、宽缓箱形向斜(如复兴地区拔山寺向斜等),构造变形总体弱。综合评价该构造单元海相油气保存条件分值为0.92,保存条件好。江汉油田在万县

复向斜南部的平桥背斜构造钻探下古生界目标,取得该区域下古生界常规气藏的发现。

3 讨论与结论

3.1 讨论

鄂西渝东地区西部的川东褶皱带,涪陵、复兴、红星地区页岩气勘探开发表明,该构造带页岩气基本连片展布,除了高陡背斜构造区,页岩层均具有较高含气性,表明该构造带整体构造变形弱,保存条件好。平桥1井钻探的背冲窄长背斜构造,在寒武系洗象池群取得常规气藏的突破,表明构造变形弱的川东褶皱带发育较完整的局部构造,能形成优质圈闭,在通源断层侧向供烃等作用能后期成藏^[38-41](图7)。

鄂西渝东地区东部的湘鄂西褶皱带位于江南-雪峰造山带前沿,构造变形强度大,往西冲断作用强度逐渐减弱,主要表现为冲断构造样式,发育基底卷入型断层,断层多为高角度断层,普遍断开层位多。受基底卷入型构造机制和断层影响,构造褶皱幅度整体较大,尤其是海相下组合地层,而海相上组合及侏罗系断裂发育程度相对较低,地层破碎程度较下组合地层低。地震勘探剖面解释已落实该区海相上组合二叠系和三叠

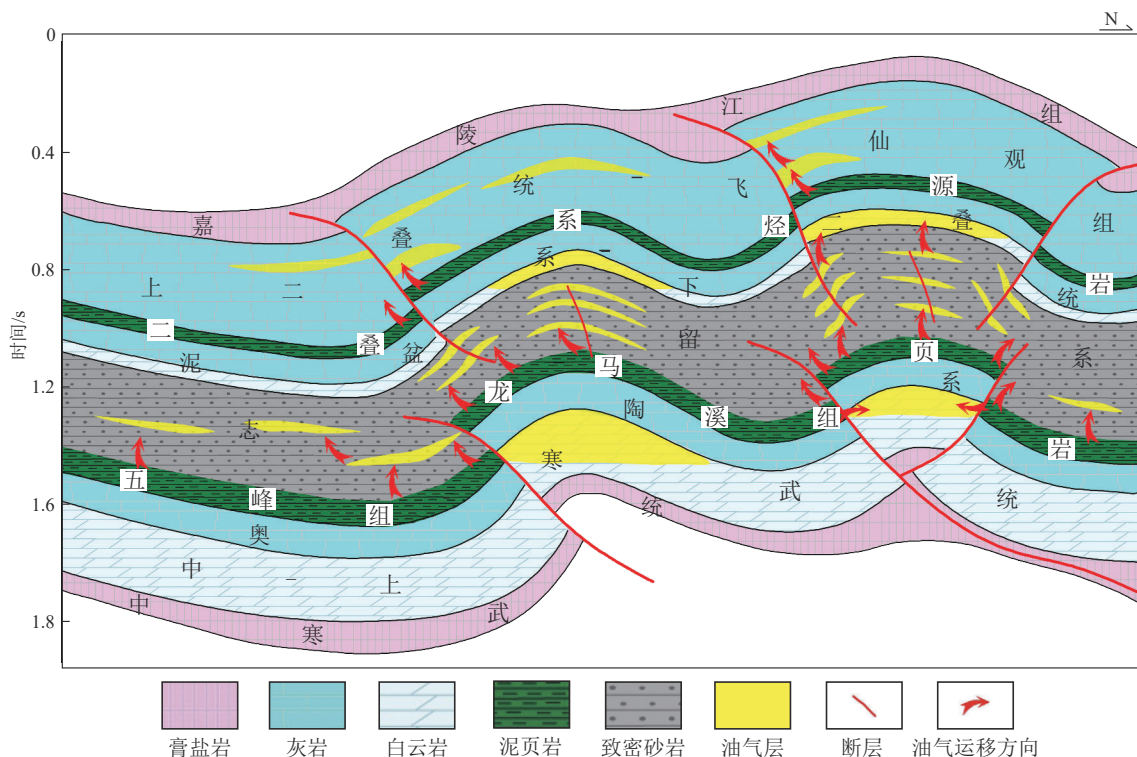


图7 川东褶皱带平桥构造断层输导油气成藏模式

Fig. 7 Patterns of hydrocarbon accumulation via a fault carrier system of the Pingqiao structure in the eastern Sichuan fold belt

系在向斜区残存,基本连片分布,向斜翼部斜坡区断裂不发育,构造形态完整度高,地层连续,仍具有较好的保存条件。二叠系页岩气探井已证实该带向斜翼部斜坡构造是页岩气富集的有利构造样式之一。湘鄂西褶皱带的勘探旨在评价构造相对稳定带,后期褶皱变形形成的局部构造,在完整度较高的情况下,保存条件较好,可形成好圈闭,有利于后期油气成藏。

3.2 结论

1) 中-新生代以来,鄂西渝东地区发生前展式递进变形,自南东向北西,构造变形逐渐减弱,可划分出冲断带、挤压断褶带、冲断-滑脱过渡带、前缘盖层断褶-滑脱带等4个构造形变带,断褶作用与地层剥蚀强度逐渐减弱。

2) 基于构造形变区的划分,选取盖层及其有效性、断裂作用、构造变形方式和构造变形强度等参数来构建保存评价体系,采用专家打分法,构建起鄂西渝东地区油气保存条件评价体系。

3) 保存条件评价结果显示,齐岳山断层以西保存条件好于东侧,且以万县复向斜的保存条件最好,其次为石柱复向斜。湘鄂西褶皱带中,以利川构造带保存条件最好,其次为恩施构造带,而以南北镇-桑植石门构造带最差。

参 考 文 献

- [1] 赵文智,张光亚,何海清,等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M]. 北京:地质出版社,2002:45-61.
ZHAO Wenzhi, ZHANG Guangya, HE Haiqing, et al. Marine petroleum geology and the composite petroliferous basin of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 45-61.
- [2] 马力,陈焕疆,甘克文,等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004:350-395.
MA Li, CHEN Huanjiang, GAN Kewen, et al. Tectonic and marine oil and gas geology in southern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 350-395.
- [3] 刘树根,孙玮,李智武,等. 四川盆地晚白垩世以来的构造隆升作用与天然气成藏[J]. 天然气地球科学,2008,19(3):293-300.
LIU Shugen, SUN Wei, LI Zhiwu, et al. Tectonic uplifting and gas pool formation since Late Cretaceous Epoch, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(3): 293-300.
- [4] 沈传波,梅廉夫,徐振平,等. 四川盆地复合盆地体系的结构构造和演化[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(3):288-299.
SHEN Chuanbo, MEI Lianfu, XU Zhenping, et al. Architecture and tectonic evolution of composite basin-mountain system in Sichuan Basin and its adjacent areas [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(3): 288-299.
- [5] 王世谦,陈更生,董大忠,等. 四川盆地地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J]. 天然气工业,2009,29(5):51-58.
WANG Shiqian, CHEN Gengsheng, DONG Dazhong, et al. Accumulation conditions and exploitation prospect of shale gas in the Lower Paleozoic Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 51-58.
- [6] 郭旭升,蔡勋育,刘金连,等. 中国石化“十三五”天然气勘探进展与前景展望[J]. 天然气工业,2021,41(8):12-22.
GUO Xusheng, CAI Xunyu, LIU Jinlian, et al. Natural gas exploration progress of Sinopec during the 13th Five-Year Plan and prospect forecast during the 14th Five-Year Plan [J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 12-22.
- [7] 郭旭升,胡东风,黄仁春,等. 四川盆地深层-超深层天然气勘探进展与展望[J]. 天然气工业,2020,40(5):1-14.
GUO Xusheng, HU Dongfeng, HUANG Renchun, et al. Deep and ultra-deep natural gas exploration in the Sichuan Basin: Progress and prospect [J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(5): 1-14.
- [8] 郭少斌,王子龙,马啸. 中国重点地区二叠系海陆过渡相页岩气勘探前景[J]. 石油实验地质,2021,43(3):377-385,414.
GUO Shaobin, WANG ZI Long, MA Xiao. Exploration prospect of shale gas with Permian transitional facies of some key areas in China [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2021, 43(3): 377-385, 414.
- [9] 孙自明,孙炜,林娟华,等. 四川盆地东部中上寒武统洗象池群油气成藏条件与主控因素[J]. 石油实验地质,2021,43(6):933-940.
SUN Ziming, SUN Wei, LIN Juanhua, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and main controlling factors of the Middle-Upper Cambrian Xixiangchi Group in the eastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2021, 43(6): 933-940.
- [10] 洪海涛,张少敏,张芮,等. 四川盆地凉高山组层序地层格架及有利勘探区优选[J]. 特种油气藏,2023,30(2):58-64.
HONG Haitao, ZHANG Shaomin, ZHANG Rui, et al. Establishment of sequence stratigraphic framework and optimization of favorable exploration areas of Lianggaoshan Formation, Sichuan Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2023, 30(2): 58-64.
- [11] 王鹏威,刘忠宝,李雄,等. 川东红星地区上二叠统吴家坪组页岩发育特征及其页岩气富集意义[J]. 石油与天然气地质,2022,43(5):1102-1114.
WANG Pengwei, LIU Zhongbao, LI Xiong, et al. Development of the Upper Permian Wujiaping shale in Hongxing area, eastern Sichuan Basin, and its significance to shale gas enrichment [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(5): 1102-1114.
- [12] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气形成与富集规律[J]. 中国科学:地球科学,2011,41(7):910-926.
JIN Zhijun. Formation and enrichment patterns of oil and gas in marine carbonate rock formations in China [J]. Science China Earth Sciences, 2011, 41(7): 910-926.

- [13] 郭战峰, 陈绵琨, 付宜兴, 等. 鄂西渝东地区震旦、寒武系天然气成藏条件[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2008, 30(4): 39-42, 16.
GUO Zhanfeng, CHEN Miankun, FU Yixing, et al. Natural gas reservoiring conditions of Sinian and Cambrian in from Western Hubei to eastern Chongqing areas [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2008, 30(4): 39-42, 16.
- [14] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 深层、超深层碳酸盐岩油气储层形成机理研究综述[J]. 地学前缘, 2011, 18(4): 181-192.
MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong. The research status and advances in porosity evolution and diagenesis of deep carbonate reservoir[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(4): 181-192.
- [15] 袁玉松, 孙冬胜, 周雁, 等. 四川盆地川东南地区“源-盖”匹配关系研究[J]. 地质论评, 2010, 56(6): 831-838.
YUAN Yusong, SUN Dongsheng, ZHOU Yan, et al. Relationship between hydrocarbon generation history of source rocks and sealing history of mudstone cap-rocks in the southeast Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2010, 56(6): 831-838.
- [16] 何治亮, 金晓辉, 沃玉进, 等. 中国海相超深层碳酸盐岩油气成藏特点及勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(1): 3-14.
HE Zhiliang, JIN Xiaohui, WO Yujin, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics and exploration domains of ultra-deep marine carbonates in China [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(1): 3-14.
- [17] 楼章华, 张欣柯, 吴宇辰, 等. 四川盆地南川地区及邻区页岩气保存差异的流体响应特征[J]. 油气藏评价与开发, 2023, 13(4): 451-458.
LOU Zhanghua, ZHANG Xinke, WU Yuchen, et al. Fluid response characteristics of shale gas preservation differences in Nanchuan and its adjacent blocks in Sichuan Basin [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(4): 451-458.
- [18] 胡东风, 张汉荣, 倪楷, 等. 四川盆地东南缘海相页岩气保存条件及其主控因素[J]. 天然气工业, 2014, 34(6): 17-23.
HU Dongfeng, ZHANG Hanrong, NI Kai, et al. Main controlling factors for gas preservation conditions of marine shales in southeastern margins of the Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(6): 17-23.
- [19] 王平, 刘少峰, 王凯, 等. 鄂西弧形构造变形特征及成因机制[J]. 地质科学, 2012, 47(1): 22-36.
WANG Ping, LIU Shaofeng, WANG Kai, et al. Structural deformation and origin of the arcuate fold-thrust belt in western Hubei Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2012, 47(1): 22-36.
- [20] 郭旭升, 梅廉夫, 汤济广, 等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 295-304, 325.
GUO Xusheng, MEI Lianfu, TANG Jiguang, et al. Constraint of Meso-Cenozoic tectonic evolution of Yangtze massif on formation of marine reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 295-304, 325.
- [21] 梅廉夫, 刘昭茜, 汤济广, 等. 南方多旋回构造作用制约下的中、古生界海相油气构造-成藏旋回[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 589-597, 607.
MEI Lianfu, LIU Zhaoqian, TANG Jiguang, et al. Tectonic-pooling cycles controlled by polycyclic tectonism in the Mesozoic-Palaeozoic marine strata of South China [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 589-597, 607.
- [22] 王濡岳, 丁文龙, 龚大建, 等. 黔北地区海相页岩气保存条件——以贵州岑巩区块下寒武统牛蹄塘组为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(1): 45-55.
WANG Ruyue, DING Wenlong, GONG Dajian, et al. Gas preservation conditions of marine shale in northern Guizhou area: A case study of the Lower Cambrian Niutitang Formation in the Cen'gong Block, Guizhou Province [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(1): 45-55.
- [23] 向杰, 陈尚斌, 王阳, 等. 断裂体系对页岩气保存的影响——以滇东北地区五峰—龙马溪组为例[J]. 煤炭学报, 2021, 46(11): 3599-3612.
XIANG Jie, CHEN Shangbin, WANG Yang, et al. Effect of fault system on shale gas preservation: A case study of the Wufeng-Longmaxi Formation in Northeast Yunnan area [J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(11): 3599-3612.
- [24] 颜丹平, 金哲龙, 张维宸, 等. 川渝湘鄂薄皮构造带多层拆离滑脱系的岩石力学性质及其对构造变形样式的控制[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1687-1697.
YAN Danping, JIN Zhelong, ZHANG Weichen, et al. Rock mechanical characteristics of the multi-layer detachment fault system and their controls on the structural deformation style of the Sichuan-Chongqing-Hunan-Hubei thin-skinned belt, South Gansu, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1687-1697.
- [25] 唐永, 胡望水, 朱美衡, 等. 湘鄂西中生代弧形叠加扩展的变形记录[J]. 地质学报, 2022, 96(4): 1197-1214.
TANG Yong, HU Wangshui, ZHU Meiheng, et al. Deformation record of multi-stage overprinting and expansion of the Mesozoic arcuate structure in western Hunan and Hubei [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(4): 1197-1214.
- [26] 王燮培, 严俊君. 含油气盆地构造样式研究中几个问题的讨论[J]. 地质科技情报, 1996, 15(4): 51-56.
WANG Xiepei, YAN Junjun. Discussion of some problems in analysis of structural styles of petroliferous basins [J]. Geological Science and Technology Information, 1996, 15(4): 51-56.
- [27] 楼章华, 马永生, 郭彤楼, 等. 中国南方海相地层油气保存条件评价[J]. 天然气工业, 2006, 26(8): 8-11.
LOU Zhanghua, MA Yongsheng, GUO Tonglou, et al. Evaluation of oil and gas preservation conditions in marine formation in South China [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(8): 8-11.
- [28] 张光荣, 聂海宽, 唐玄, 等. 基于地层水指标的页岩气保存条件评价——以渝东南地区五峰组—龙马溪组页岩气藏为例

- [J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(1): 47-55.
- ZHANG Guangrong, NIE Haikuan, TANG Xuan, et al. Evaluation of shale gas preservation conditions based on formation water index: A case study of Wufeng-Longmaxi Formation in southeastern Chongqing [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(1): 47-55.
- [29] 卢志远, 何治亮, 余川, 等. 复杂构造区页岩气富集特征——以四川盆地东南部丁山地区下古生界五峰组-龙马溪组为例 [J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(1): 86-97.
- LU Zhiyuan, HE Zhiliang, YU Chuan, et al. Characteristics of shale gas enrichment in tectonically complex regions—A case study of the Wufeng-Longmaxi formations of Lower Paleozoic in southeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(1): 86-97.
- [30] 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8.
- HE Dengfa, MA Yongsheng, YANG Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8.
- [31] 梁兴. 中国南方海相改造型盆地含油气保存单元综合评价 [D]. 成都: 西南石油大学, 2006: 23-27.
- LIANG Xing. The comprehensive evaluation of hydrocarbon preservation units in modifying-type basins of sea facies in South China [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006: 23-27.
- [32] 余光春, 魏祥峰, 李飞, 等. 上扬子地区断裂活动对页岩气保存的破坏作用 [J]. 石油实验地质, 2020, 42(3): 355-362.
- YU Guangchun, WEI Xiangfeng, LI Fei, et al. Disruptive effects of faulting on shale gas preservation in Upper Yangtze Region [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2020, 42(3): 355-362.
- [33] 曹虎威, 祝海华, 刘竞, 等. 川西南复杂构造区震旦系-寒武系油气保存条件 [J]. 石油地质与工程, 2022, 36(5): 46-51, 56.
- CAO Huwei, ZHU Haihua, LIU Jing, et al. Preservation conditions of Sinian-Cambrian oil and gas in complex structural area of Southwest Sichuan [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2022, 36(5): 46-51, 56.
- [34] 翟光明, 宋建国, 靳久强, 等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 59-62.
- ZHAI Guangming, SONG Jianguo, JIN Jiuqiang, et al. Plate tectonic evolution and its relationship to petroliferous basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 59-62.
- [35] 汤济广, 李豫, 汪凯明, 等. 四川盆地东南地区龙马溪组页岩气有效保存区综合评价 [J]. 天然气工业, 2015, 35(5): 15-23.
- TANG Jiguang, LI Yu, WANG Kaiming, et al. Comprehensive evaluation of effective preservation zone of Longmaxi Formation shale gas in the Southeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(5): 15-23.
- [36] 蔡景顺, 杨少航, 薛萌, 等. 长宁和泸州地区构造变形差异性及其对页岩气保存的影响 [J]. 断块油气田, 2024, 31(2): 177-186.
- CAI Jingshun, YANG Shaohang, XUE Meng, et al. Differences in structural deformation and its influence on shale gas preservation in Changning and Luzhou areas [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2024, 31(2): 177-186.
- [37] 郭旭升, 胡东风, 李宇平, 等. 涪陵页岩气田富集高产主控地质因素 [J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(4): 481-491.
- GUO Xusheng, HU Dongfeng, LI Yuping, et al. Geological factors controlling shale gas enrichment and high production in Fuling shale gas field [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(4): 481-491.
- [38] 杨光, 朱华, 黄东, 等. 四川超级富气盆地特征及油气勘探潜力 [J]. 天然气勘探与开发, 2020, 43(3): 1-7.
- YANG Guang, ZHU Hua, HUANG Dong, et al. Characteristics and exploration potential of the super gas-rich Sichuan Basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2020, 43(3): 1-7.
- [39] 何希鹏, 齐艳平, 何贵松, 等. 渝东南构造复杂区常压页岩气富集高产主控因素再认识 [J]. 油气藏评价与开发, 2019, 9(5): 32-39.
- HE Xipeng, QI Yanping, HE Guisong, et al. Further understanding of main controlling factors of normal pressure shale gas enrichment and high yield in the area with complex structure of the southeast area of Chongqing [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(5): 32-39.
- [40] 李国辉, 苑保国, 朱华, 等. 四川盆地超级富气成因探讨 [J]. 天然气工业, 2022, 42(5): 1-10.
- LI Guohui, YUAN Baoguo, ZHU Hua, et al. Genesis of super-rich gas in the Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(5): 1-10.
- [41] 姚雪根. 四川盆地天然气藏的破坏与保存条件剖析 [J]. 海相油气地质, 2007, 12(4): 21-36.
- YAO Xuegen. Analysis of wreck and preservation conditions of natural gas reservoirs in Sichuan basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(4): 21-36.

(编辑 张玉银)