

中国含油气盆地不同构造样式及其油气地质意义

郭齐军¹,邓铭哲²,张晨雨²,单帅强²,倪春华²,王斌²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 102206;2. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214126)

摘要:多类型构造样式的控油气作用是油气勘探面临的重要科学问题。基于前人研究认识成果、勘探经验的总结,对中国含油气盆地内不同构造样式的演化及成因模式进行了系统梳理,解析了不同构造样式对油气成藏的控制作用。研究认为:①中国含油气盆地主要发育伸展构造、收缩构造、走滑构造和叠加构造4种构造样式。伸展构造主要控制盆地建造过程,收缩构造、走滑构造主要控制盆地改造过程。②不同构造类型的控油气作用差异明显,伸展构造主要控制盆地烃源岩、有利储集体和盖层等油气聚集成藏要素的发育,收缩构造、走滑构造和叠加构造主要控制油气运移与圈闭条件的演化。③在构造与其他要素复合作用下,断裂自身也可以作为一类储集体,成为油气聚集的空间,这一类断裂油气藏是当前油气勘探的新领域。

关键词:控油气作用;伸展构造;收缩构造;走滑构造;叠加构造;构造样式;石油勘探;含油气盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Structural styles and their geological significance to petroliferous basins of China

GUO Qijun¹, DENG Mingzhe², ZHANG Chenyu², SHAN Shuaiqiang², NI Chunhua², WANG Bin²

(1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China; 2. Wuxi Institute of Petroleum Geology, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: The control of various structural styles on hydrocarbon accumulation proves to be a major scientific challenge for hydrocarbon exploration. Based on a summary of previous research achievements and exploration experience, we systematically organize the evolution and genetic models of different structure styles in the petroliferous basins of China, and analyze their control on hydrocarbon accumulation. The findings are as follows: (1) Four major structural styles are identified in petroliferous basins of China: extensional, contractional, strike-slip, and superimposed structures. The extensional structure, among others, primarily controls basin formation, while the contractional and strike-slip structures principally govern basin reconstruction. (2) These structural styles play significantly different roles in hydrocarbon generation, migration, and accumulation. Specifically, the extensional structure controls the development of source rocks, favorable reservoirs, and cap rocks, key factors to hydrocarbon accumulation in the basins. In contrast, the contractional, strike-slip, and superimposed structures dictate hydrocarbon migration and the evolution of traps. (3) Under the combined influence of tectonics and other factors, faults themselves can serve as reservoirs, providing spaces for hydrocarbon accumulation. This fault reservoir represents an emerging hydrocarbon exploration target presently.

Key words: control on hydrocarbon generation-migration-accumulation, extensional structure, contractional structure, strike-slip structure, superimposed structure, structural style, petroleum exploration, petroliferous basin

引用格式:郭齐军,邓铭哲,张晨雨,等. 中国含油气盆地不同构造样式及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(3): 609-621. DOI: 10.11743/ogg20240303.

GUO Qijun, DENG Mingzhe, ZHANG Chenyu, et al. Structural styles and their geological significance to petroliferous basins of China [J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(3): 609-621. DOI: 10.11743/ogg20240303.

收稿日期: 2024-03-23; 修回日期: 2024-05-17。

第一作者简介: 郭齐军(1964—), 男, 博士、教授级高级工程师, 油气战略选区与矿权综合评价。E-mail: guoqj_syky@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技部项目(P22125)。

中国的石油勘探已进入成熟阶段,通过几十年的勘探实践,广大石油地质工作者已掌握并发展了适应中国含油气盆地构造地质分析的理论和方法^[1-2]。研究表明,中国沉积盆地内构造类型多样,盆地性质、演化过程在不同区域存在明显差异,盆地内油气聚集程度也存在明显的不均一性。在板块构造理论的推动下,从盆地演化角度,综合分析含油气盆地内构造样式与油气成藏条件的时、空匹配关系,成为揭示盆地含油气规律、指导油气勘探的重要研究内容^[3-8]。

中国中西部盆地具有明显的“多层”结构特征,不同构造层之间由不整合面分隔,形成相对独立的含油气系统,东部盆地以断陷-拗陷结构为主,叠加走滑-伸展、走滑-挤压多种应力作用。构造油气藏在盆地内多种类型含油气圈闭与油气藏中占多数^[9-11]。构造作用是油气聚集和油气藏形成的主导因素,决定了含油气盆地的结构特征及油气藏的形成演化^[12-17]。

根据前人研究认识成果与油气勘探的经验,本文对盆地内不同构造样式类型及其控油气作用进行了分析,结合典型实例,对4种构造样式的控油气作用进行了归纳总结,以期能够为含油气盆地构造分析提供方法与思路上的参考。

1 不同构造样式及其内在联系

构造样式是一类特定的构造组合,是由在剖面形态、平面展布、排列和应力机制上相互有密切联系的构造变形所组成的。Harding和Lowell^[18]将板块构造分析和油气勘探结合,以基底构造是否控制沉积盖层变形为基础,根据形变的力学性质和应力传递方式进一步细分构造样式的类型。目前,含油气盆地内的主要构造样式类型可以总结为伸展构造、收缩构造、走滑构造及不同构造样式叠加形成的叠加构造4种构造样式类型。

中国含油气盆地大多具有较长的演化历史与多期构造活动特征,受先存构造控制,多期、多方向应力作用于盆地形成的构造样式也存在较大差异,这使得同一盆地内不同区域可能形成多种构造样式组合的叠加复合,进而形成差异化的控油气聚集条件。

含油气盆地内构造控油气作用主要表现在:①盆地的形成与演化主要受到构造活动的影响,古构造不仅决定了古地貌的形态,还进一步影响了盆地的沉积相带分布,这种影响间接地控制了烃源岩和储层的发育;②在埋藏过程中,烃源岩生成石油和天然气的过程同样受到构造沉降作用的调控;③断裂、不整合面和裂缝为油气运移提供有利条件;④构造应力是油气运移

的重要动力之一;⑤构造作用形成的各类圈闭是油气聚集的重要场所;⑥构造活动会对油气储集体的改造产生影响;⑦构造活动不仅影响着油气的聚集,还可能导致油气藏的破坏与调整,从而改变地下油气的分布状态。

2 不同构造样式与油气聚集的关系

2.1 伸展构造

伸展构造是在区域性或局部性拉张应力场的作用下,地壳物质发生的扩展和拉伸变形过程,伸展断裂是典型代表之一。伸展断裂可以形成于区域性伸展或挤压环境中,在主动裂谷作用下,裂谷边界断裂是典型的形成于伸展应力环境中的伸展断裂,在板块俯冲作用下,随着俯冲板块后撤,受俯冲作用影响的区域会发生被动裂谷作用,同样形成伸展断裂,如中国东部的断陷盆地群。依据大陆流变学特征的差异,大陆伸展变形可以分为纯剪切模型、简单剪切模型和分层剪切模型,分别对应不同的地壳结构(图1)。

伸展断裂是在沉积过程中长期发育、具有典型“生长”特征的断裂^[19],其断裂长度、规模随着沉积地层平面展布范围的扩大、厚度的增加而发生变化,其断裂形态对地层沉积过程具有明显影响。在几何形态和内部结构上,不同规模和成因的伸展断裂具有很多共同特征:①断裂走向上呈弧形或弧形雁行排列,或组成一定型式的断裂系,主干断裂与分支断裂有分叉、合并的现象;②伸展断裂的下降盘地层通常展现出明显的增厚特征;③在断裂控制的沉积地层中,伸展断裂的断距具有自下而上逐步减小的特点;④伸展断裂的倾角一般

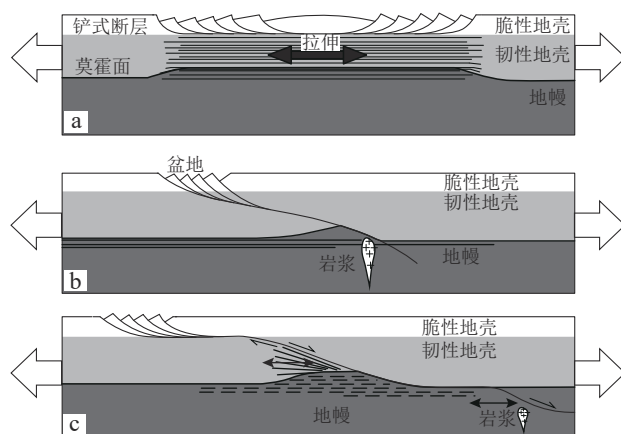


图1 大陆伸展变形的3种基本变形机制示意图

Fig. 1 Three essential mechanisms underlying the extensional deformations of continents

a. 纯剪切模型; b. 简单剪切模型; c. 分层剪切模型

具有上陡下缓的特征,断裂面呈弧形,且凹面朝上;⑤断裂发育过程中在上盘形成掀斜断块,下盘形成逆牵引构造,伸展断裂上盘还可形成滚动背斜,形成紧邻主断层这一油气优势运移通道的良好构造圈闭。

中国东部含油气盆地,其形成演化绝大部分与伸展构造有关,断陷内隆起带或伸展断裂带往往能够形成巨大的油气聚集带,这些同期隆起和伸展断裂在其生长过程中,不仅直接控制着生油凹陷的形成和迁移、储集相带的分布,而且在褶皱、隆起的顶部、翼部、断裂的两侧形成一系列有利的油气圈闭,从而构成不同层系叠合连片、多种油气藏类型均有发育的复式油气聚集带。

2.2 收缩构造

收缩构造主要由逆冲断裂及其上盘逆冲岩席组成,引起岩层叠置和地层缩短^[20]。由于其构造样式的复杂性、形成机制的多样性,收缩构造内的油气聚集保存条件非常苛刻。大量勘探实践证明,收缩构造中存在油气聚集作用,但只有在具有生油潜力的沉积凹陷附近的逆冲带由于同时具备良好储层、合适圈闭和油气运移通道、良好保存条件等必要因素^[21-22],才可形成油气聚集。

收缩构造中的油气运移是一个动态连续的过程,油气的侧向和垂向运移贯穿于烃源岩生烃过程的始终,侧向运移出现在平行地层压力梯度的方向并垂直于运移时的区域构造等值线。收缩构造带内,逆冲断裂附近较为发育的次级断层和裂隙是油气运移的良好

通道,运移的途径受盆地几何形态的控制。

收缩构造带内的油气勘探极其复杂,逆冲过程对油气聚集既可能起建设作用,也可能起破坏作用。从有利的角度来看,收缩构造内,逆冲带附近构造裂缝发育,可以增加储层的孔、渗性,形成裂缝型圈闭。此外,逆冲断层上盘可能形成挤压牵引背斜圈闭或断层圈闭,前缘断层夹片中可能形成断块油藏,前缘逆冲断层的下盘常伴生有推覆挤压形成的宽缓背斜(图2b),前缘滑脱背斜带内,挤压背斜以及反冲断层的上盘可形成有利圈闭。但是,由于收缩构造内断裂活动强度大、地层破碎程度高,油气保存条件往往遭受破坏,发生油气散失。

2.3 走滑构造

走滑构造是岩石圈或地壳水平运动的表现,它是指岩石圈或地壳在扭或剪应力作用下产生的各种构造变形样式^[24]。走滑构造在沉积盆地发育、断裂系统演化 and 油气圈闭形成中起到重要的控制作用。

拉分盆地和花状构造是与走滑构造密切相关的构造样式。拉分盆地是形成于走滑断裂系统中的断陷盆地。拉分盆地发育快、沉降快、沉积物厚度大、沉积相变化迅速,其内部热流值较高^[23]。配合碎屑岩储层和雁列式构造圈闭的发育,拉分盆地具有较好的油气成藏条件。花状构造描述的是走滑断裂剖面上的形态(图3),一条走滑断裂向上延伸,次级断裂位于其上方

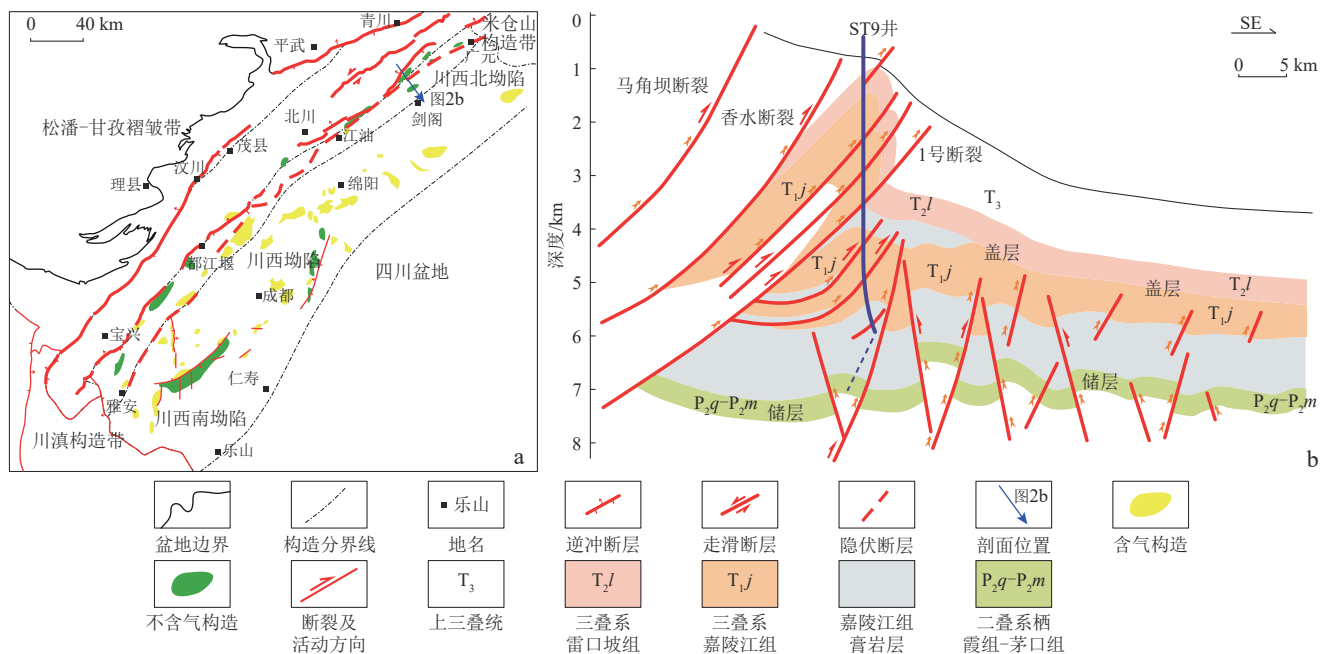


图2 四川盆地双鱼石构造成藏模式

Fig. 2 Hydrocarbon accumulation model of the Shuangyushi structure in the Sichuan Basin

a. 四川盆地西缘收缩构造带; b. 双鱼石构造成藏模式示意图(剖面位置见图a)

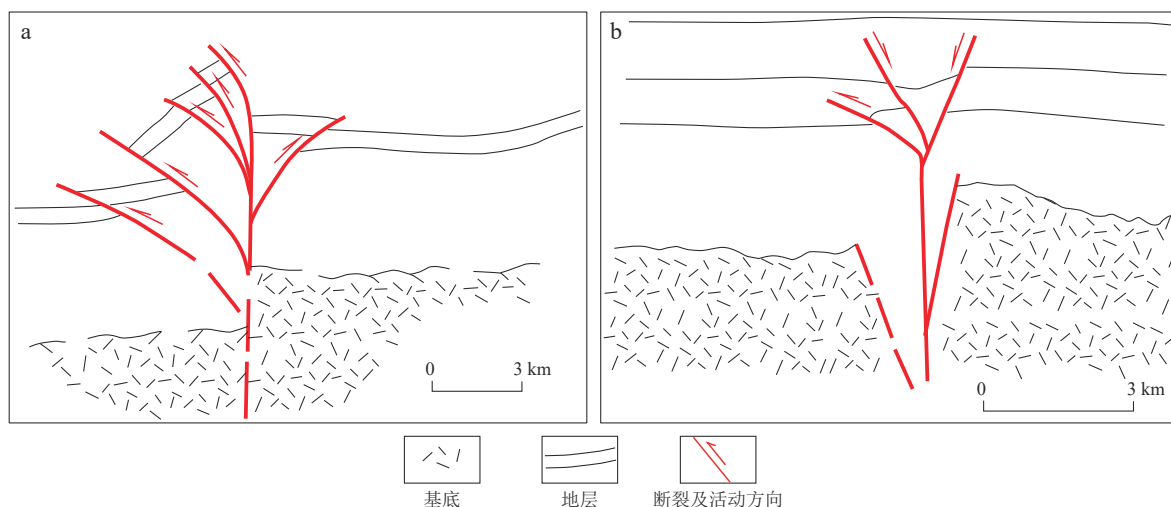


图3 正花状构造(a)与负花状构造示意图(b)

Fig. 3 A positive flower structure (a) and a negative flower structure (b)

地层中,成花状散开。正花状构造形成于挤压-走滑的应力环境下,其上部为由逆断层组成的逆冲构造(图3a),负花状构造形成于伸展-走滑的应力环境下,其上部由正断层分割为数个地堑和半地堑(图3b)。花状构造是指示走滑构造应力性质的重要标志。

走滑构造与油气聚集的关系表现在以下几个方面:①大型走滑断裂往往会同生发育形成断陷盆地,即拉分盆地,这种盆地具有良好的生油条件,盆地内烃源岩成熟和圈闭形成、油气充注、聚集在时间上具有较好的匹配关系,能够形成有效的成藏组合。②走滑断裂带内形成的最有利构造圈闭一般是雁列式背斜,其次是雁列式正断层构成的断块。逆冲断层遮挡及花状构造内的地层也均可构成圈闭,但圈闭的好坏和走滑构造的发育阶段以及位移量有关。

2.4 叠加构造——反转构造

叠加构造指由不同构造样式组合形成的复合构造。反转构造属于叠加构造的一种类型,可分为正构造反转和负构造反转两种^[24]。中国南海陆缘和东部各油区在新生代受到印度、太平洋和欧亚板块相互作用的影响,普遍发育反转构造。

构造反转可对油气聚集产生有利的影响:①凹陷一般会经历断陷和拗陷两个阶段,期间形成烃源岩、储集层和盖层,从而构成生油凹陷,构造反转作用可以形成反转背斜叠置于生油凹陷之上的结构,为油气的聚集保存创造了优越的条件(图4);②构造反转作用能够在伸展盆地中形成完整的背斜圈闭结构和逆冲高陡断块,引入新的圈闭类型;③相比于张性盆地中广泛分布的小规模构造圈闭,反转构造通常具有更大的面积

和幅度,形成中型或大型油田的构造条件更加充分(图4);④构造反转引起的断裂活动有助于提高储层的裂隙发育程度,进而提高地层的储集性;⑤构造反转一般具有较好的源-圈匹配关系,且往往发生在油气大规模运移之前,为油气的聚集提供了良好场所。但另一方面,如果构造活动中地层遭受挤压后抬升过高,可能会破坏已经形成的油气藏。

3 不同构造样式勘探效果实例分析

3.1 伸展构造勘探实例——松辽盆地梨树断陷

松辽盆地位于中国东北部,是典型的中-新生代断陷-拗陷盆地。梨树断陷位于松辽盆地南部,整体呈西断东超的箕状断陷(图5),内部主要沉积地层包括下白垩统火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组,上白垩统泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组,古近系及新近系(图5)。梨树断陷演化主要受控于桑树台断裂的活动,其中火石岭组至营城组沉积期是断裂活动较为剧烈的时期,断裂活动控制了不同岩性地层的分布。

火石岭组沉积期,梨树断陷开始裂陷运动,断陷分割性强(图6),在金山、金岗地区发育有半深湖相碎屑岩沉积,暗色泥岩厚度最大值均超过100 m;受秦家屯断裂控制,秦家屯及小城子地区也发育小范围的半深湖沉积,暗色泥岩厚度也较大;梨树断陷北部双龙地区也沉积了一定厚度的暗色泥岩;苏家屯地区受断裂的控制形成了部分半深湖相沉积,也沉积了一定厚度的暗色泥岩。梨树断陷北部斜坡带水体较浅,火石岭组

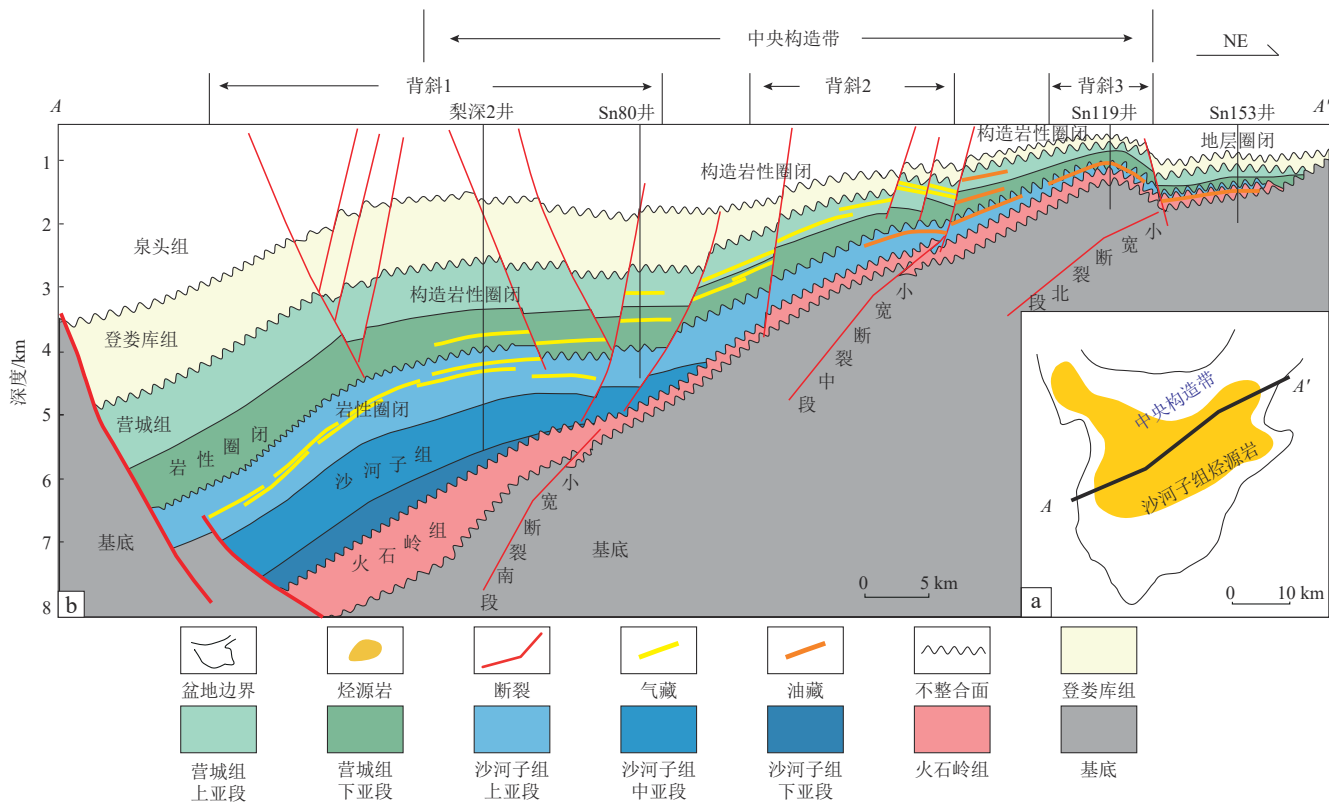


图4 松辽盆地梨树断陷小宽断裂反转构造造成藏模式示意图

Fig. 4 The hydrocarbon accumulation model of inverted structures in the Xiaokuan fault zone in the Lishu fault depression, Songliao Basin
a. 梨树断陷构造形态及剖面位置; b. 反转构造及油气分布关系

基本不发育暗色泥岩。

沙河子组沉积期近南北向的桑树台断裂持续大规模伸展(图6),形成了一系列南北向控沉积的伸展构造体系。整个断陷表现出统一的广盆沉积特征,湖盆范围变大,水体变深,主要以深湖-半深湖相沉积为主,暗色泥岩厚度较大。主要分布在桑树台深洼区,其中十屋和孤家子地区暗色泥岩厚度较大,最厚可达1 000 m;自西向东,逐渐转变为滨浅湖相暗色泥岩,厚度逐渐减小;在双龙地区部分地区为滨浅湖相,暗色泥岩最厚可达300 m以上;东部秦家屯地区暗色泥岩最大厚度200 m左右。此时期断裂的活动,控制了梨树断陷内沙河子组烃源岩的形成,对梨树断陷油气成藏具有重要意义。

营城组沉积期基本上继承了沙河子组沉积期的构造-沉积格局(图6),依然为统一的广盆沉积,且凹陷内部分割性进一步减小,水体变浅,但湖盆范围扩大。该阶段以形成快速伸展断陷相关的深湖-半深湖碎屑沉积为主。营城组沉积早、中期主要以深湖-半深湖沉积为主,盆地边缘分布有扇三角洲、水下扇沉积,盆地北部出现大规模扇三角洲平原相沉积。暗色泥岩分布范围较广,厚度大,分布在0~1 500 m。

登娄库组沉积期,东北地区东南侧的伊邪那岐板块开始俯冲,成为影响区域的最主要构造作用,梨树断陷进入左行走滑-挤压变形的阶段(图6)。此时,皮家断裂从正断层转换为走滑断裂,并且向北东方向延伸,小宽断裂开始左行走滑-逆冲活动,同样向北东方向延伸,并且同时带动上覆地层发生弯曲变形,秦东断裂及其他分支断裂开始形成,改造了先存断裂的结构形态。

可以看到,在伸展断陷盆地中,构造活动主要控制了盆内地层沉积相带的展布方式。结合四川盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地早期伸展形成的裂陷-拗陷体系及其控制的盆地深层烃源岩-储集体形成过程,可以将这个概念进一步引申,认为伸展背景下的构造活动,普遍以控制盆地“建造”为主要特征,奠定了盆地形成油气的物质基础,包括烃源岩和有利储集体的分布。

3.2 收缩构造勘探实例——准噶尔盆地南缘山前带

准噶尔盆地南缘山前带,具有走向分段、倾向分带和垂向分层的特点^[25-26]。受青藏高原隆升的远程效应产生的挤压作用影响,中-新生代构造变形强烈。新生代欧亚大陆板块与印度板块的碰撞挤压,导致天山再度隆升,山前快速沉降,褶皱-冲断作用自山前向盆

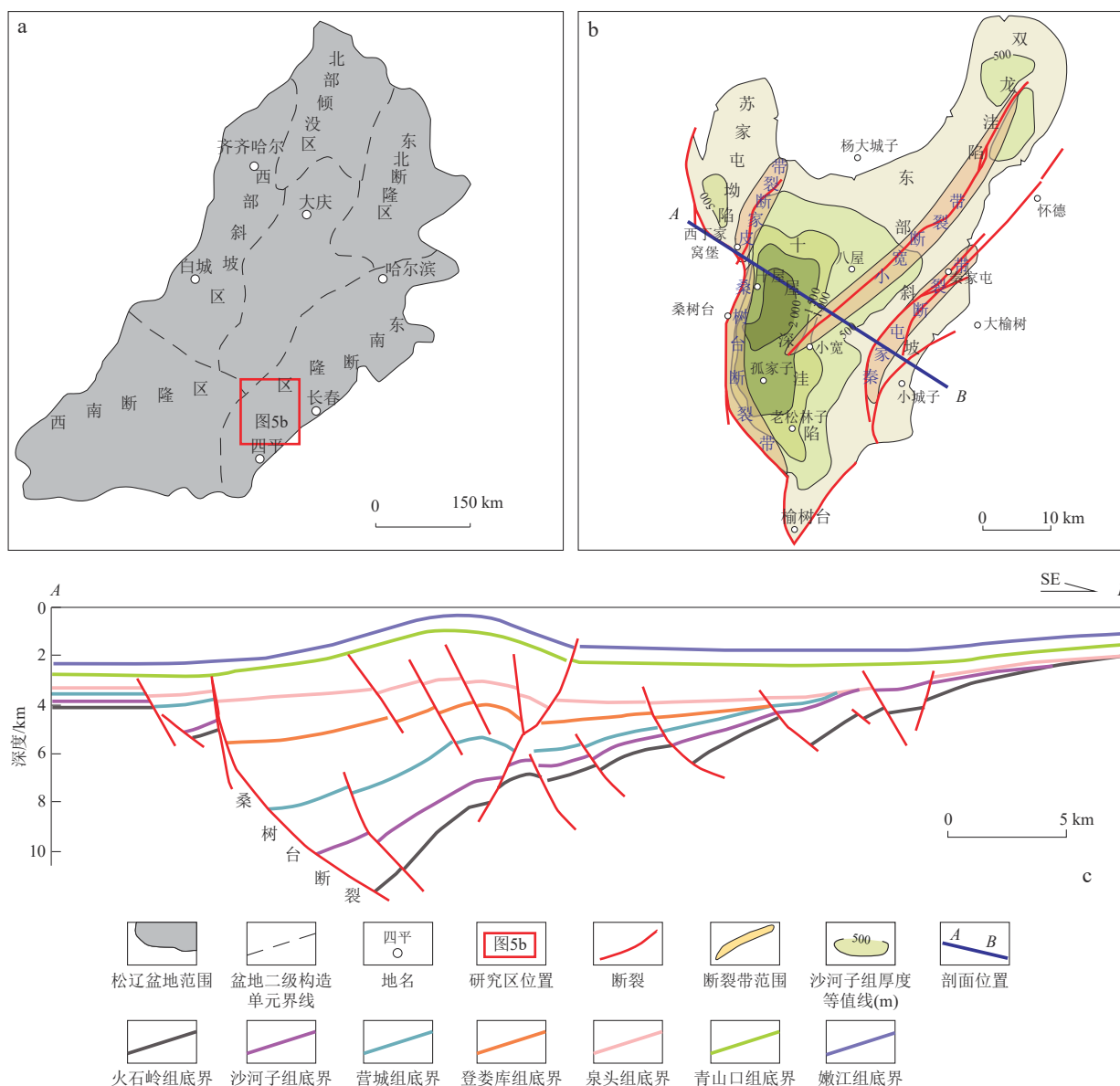


图5 梨树断陷构造位置与地质结构示意图

Fig. 5 Schematic maps showing the tectonic location and geological structures of the Lishu fault depression

a. 梨树断陷构造位置; b. 梨树断陷沙河子组沉积厚度分布; c. 梨树断陷地质结构剖面(剖面位置见图b)

地扩展,在中生代走滑构造之上叠加新生代滑脱冲断构造,盆地早期构造格局的差异造成了准噶尔盆地南缘山前带从西到东呈现出不同的构造样式。近年该地区勘探取得重大突破,但中段、西段和东段钻探结果差异较大,这种差异受控于各段山前带的地质结构特征与油气成藏条件。

准噶尔盆地内,根据烃源岩的不同,可以划分出石炭系成藏体系、二叠系成藏体系和侏罗系成藏体系3套成藏体系。侏罗系成藏体系是准噶尔山前的主要成藏体系。

准噶尔盆地南缘山前带中段构造带发育完整,具有典型同沉积冲断构造的地质结构特征。烃源岩条件

优越,以侏罗系为主。山前变形的前缘滑脱构造带内发育下生上储的成藏模式,输导与保存条件的优劣是能否成藏的关键因素;山前带内断褶构造带形成下生上储与旁生侧储的成藏模式,保存条件好坏是成藏的关键因素。

准噶尔盆地南缘山前带西段,地层埋藏更浅,各构造带相对更窄。烃源岩以侏罗系为主,生烃灶局限于四棵树凹陷东部次洼(图7),以远源侧向断砂输导成藏模式为主,山前断褶构造带内,输导路径、圈闭和保存是成藏的关键因素,山前变形前缘滑脱构造带内,近源输导和圈闭是成藏关键因素。

准噶尔盆地南缘山前带东段为不发育多层滑脱构

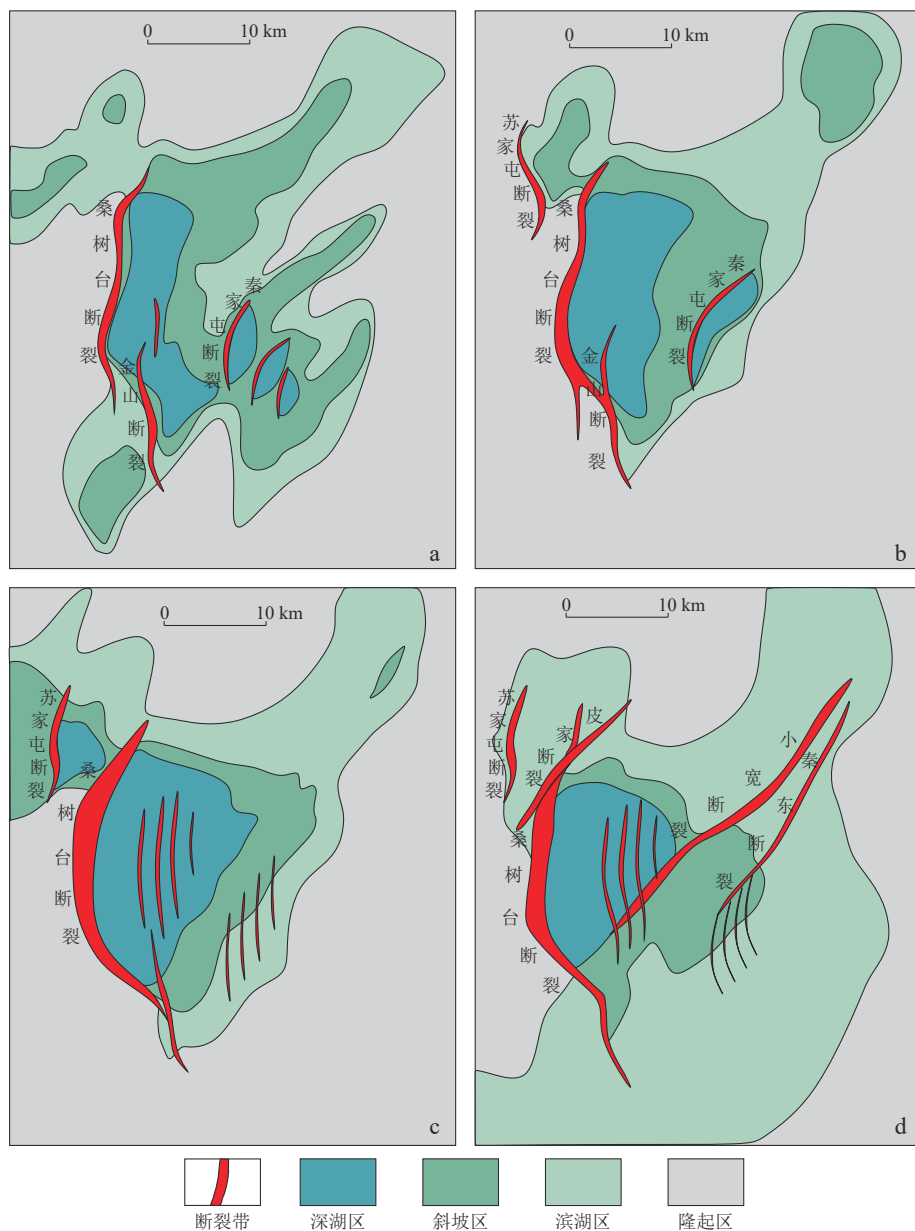


图6 梨树断陷演化过程示意图

Fig. 6 Evolutionary process of the Lishu fault depression

a. 火石岭组沉积期; b. 沙河子组沉积期; c. 营城组沉积期; d. 登娄库组沉积期

造带的复杂同沉积冲断型冲断带。烃源岩以二叠系芦草沟组为主,侏罗系、石炭系局部供烃(图8)。形成下生上储与旁生侧储的成藏模式,圈闭和保存条件是成藏的关键因素。

收缩构造活动以形成盆地边缘及盆内不同块体边缘的强烈水平缩短为主要特征,其形成的断裂系统能够沟通源-储,形成的褶皱变形能够成为良好的构造圈闭,但是多期构造活动对地层连续性的破坏较为强烈,收缩构造样式背景下的油气成藏情况往往与保存条件密切相关。作为影响了中国中、西部盆地的主要构造作用,收缩构造,特别是山前构造变形,不但重新

调整了盆地原有的深层油气分布格局,也可以控制一系列新成藏体系的形成,例如塔里木盆地北缘的中-新生代含油气系统。因此,收缩构造的油气勘探虽然面临着地质结构复杂、油气聚集部位预测困难以及目的层位较深等一系列地质、工程问题,但由于能够针对多套层系开展立体勘探,因而具有较高的勘探价值。

3.3 走滑构造勘探实例——渤海湾盆地辽东湾拗陷、塔里木盆地顺北地区

中国东、西部走滑断裂存在一定差异,东部走滑断裂总体形成于伸展-走滑构造环境,以控制、影响

东部断陷-坳陷盆地演化过程为主^[27],结构上以形成大型花状构造为主要特征,西部走滑断裂主要形成于挤压环境下,除了典型的花状构造,还可形成平面上平直展布、分段变形、剖面上分层变形的克拉通内走滑断裂^[28]。

渤海湾盆地在郯庐断裂带一线发现了数十个大、中型油气田。金县位于辽中凹陷与辽东凸起之间,处于渤海湾盆地郯庐断裂西支上,区域内断裂体系具有明显的伸展-走滑构造特征。区内主要经历了古近纪伸展裂陷、渐新世走滑剪切和新近纪裂后热沉降的演化过程。NE向的持续右旋走滑造成构造带西盘褶皱变形伴随正断层发育,东盘发生明显地层翘倾^[29-30]。JX1-1构造位于沉积盖层之中,在演化的初始阶段,JX1-1构造表现为一系列T断裂的雁列式排列,其中局部发育少量的右阶排列P断裂以及南北两端的Y断裂。随着走滑变形的进一步推进,这些断裂的末端开始向两侧扩展,特别是中部的T断裂,它与两条P断裂共同形成张性走滑弯曲。在位移量进一步增加后,走滑弯曲部位两侧的T断裂通过连接P断裂或自身末端的扩展,形成了众多水平方向上遮挡的断块,最终形成了JX1-1现今构造样式(图9)。在平面上,该构造的目的层展现出类似于张性对称型走滑双重构造的特征;而在剖面上,则呈现出负花状构造的特征。

对JX1-1构造发育特征及构造富油机理分析表明,走滑构造带中,深层烃源岩层系的相对抬升(如挤压抬升、底辟拱升等)有利于油气的大规模侧向汇聚。浅层分支断层的发育形成大量的断层圈闭,可以控制油气的规模富集。

郯庐断裂西支一带的油气分布呈现出显著的非均质性特征。断裂不同部位烃源岩演化程度的差异和不同构造单元油气汇聚面积的不同是这种非均质性的主要原因,但是还需要注意到,断裂不同部位构造圈闭的发育程度存在极大差异。在郯庐断裂西支活动的晚期阶段,走滑断裂的水平活动,转化为断裂左、右两盘之间垂向落差的改变,形成了剖面上具有较大垂直位移分量的分支断裂。在这些断裂的切割作用下,地层变为垂向叠置的断块,与断裂一起构成了区域内复杂的断裂圈闭系统,提供了油气大量富集的空间^[32-33]。

近年来,塔里木顺北地区、四川盆地高石梯-磨溪地区都已经发现了高角度、上下分层、小位移量、多期活动的走滑断裂构造,成为一种新的、日益受到重视的走滑构造样式。其中,顺北地区的走滑断裂研究程度较高,已经解析出至少经历了加里东中期-海西早期、印支期以及喜马拉雅期等多个阶段的演化过程^[40]。受不同时期区域盆缘挤压的差异影响,断裂变形由“单剪体系”向“单剪+压脊复合体系”转变。顺托果勒低隆起具有“剪

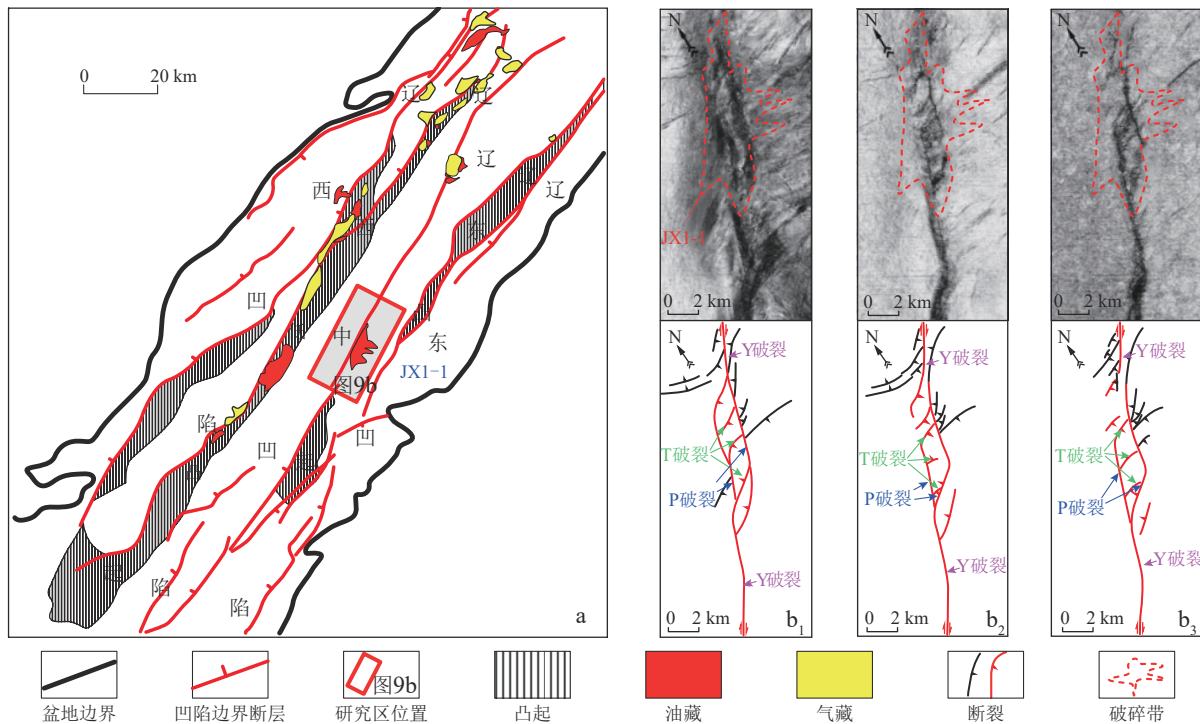


图9 渤海湾盆地JX1-1构造目的层平面图

Fig. 9 Plan views showing the target layer of the structure JX1-1 within the Bohai Bay Basin

a. 研究区位置示意图; b₁—b₃, JX1-1构造附近相干切片及地震解释方案, b₁为1 300 ms, b₂为1 000 ms, b₃为650 ms

切破裂增容、分段多期改造、烃类侵位保持”成储机制,在走滑断裂多期继承性活动下,构成洞穴(断层空腔)、裂缝带和基岩有序排列的多组缝洞集合体^[38],规模储层具有“栅状”结构特征(图10)。顺北地区的油气勘探实践表明,主活动期与油气成藏期匹配的主干断裂带是油气富集的最有利部位。此外,深层走滑段上覆雁列正断层活动越强,对应的深部平移走滑段和叠接拉分段对储层改造程度越高,油气在相应部位更富集。

2016年在塔里木盆地顺托果勒低隆起部署实施的顺托1-1井,发现了顺北超深层油气田,建立了顺北地区“寒武系多期供烃、深埋断溶成储、原地垂向输导、晚期成藏为主、走滑断裂控富”的超深断溶体油气成藏模式^[34-37]。从这些勘探进展中可以看到,断裂构造已经不能简单理解为一类线状或面状的油气运移通道,而是在特定地质条件下,可以形成类似于“体”的储集空间,成为油气聚集的场所。

3.4 叠加构造勘探实例——东海盆地西湖凹陷

西湖凹陷位于东海陆架盆地,是一个规模相对较大的含油气凹陷,形成于晚白垩世末的伸展构造环境(图11a),主要经历晚侏罗世—早白垩世热隆—火山作用、古新世—始新世裂隙、渐新世拗陷、中新世—上新世早期构造反转和上新世晚期至今整体调整沉降5个阶段(图11b)。正反转构造在盆地内呈带状分布^[39-41]。盆地反转的期次有3个(图11b),依次为:①始新世末期的早期反转(图11b₂);②渐新世末期的中期反转(图11b₃);③中中新世末期的晚期反转(图11b₅)。在发生构造反转之前,西湖凹陷已经历了从裂隙到拗陷的演化过程,并在此期间形成了下生上储的成藏系统。晚期构造反转形成的背斜直接覆盖在了生油层之上,

形成了有利的储集空间。

经过多期的构造反转,西湖凹陷内形成了多类型的构造圈闭,包括断层圈闭、背斜圈闭以及断背斜圈闭等。早期反转中,尽管其强度相对较小,但已经对盆地的西斜坡带产生了显著影响^[42-43],它改造了先前存在的滚动背斜,为油气的运移与聚集提供了通道,形成了盆地内的油气圈闭。晚期的反转作用影响最为显著,规模也最大,它促使盆地中央形成了大面积的背斜隆起。这一地质过程有利于油气的聚集,但也因背斜顶部地层遭受强烈的剥蚀,可能导致部分油气逸散。在反转构造带的南部,由于地层抬升幅度相对较小,剥蚀程度相对较低,油气保存情况较好。

4 结论

1) 中国含油气盆地内,伸展构造、收缩构造、走滑构造和叠加构造是目前油气勘探中主要涉及的构造样式。伸展构造活动影响盆地内不同岩性地层的展布,具有明显的控“建造”特征,其他类型的构造样式多形成于盆地的“改造”过程中,主要起到改造盆地结构的作用。

2) 不同构造类型的控油作用差异明显,伸展构造对油气藏形成的物质基础具有控制作用,决定了包括源、储、盖等条件在内的成藏要素,收缩构造、走滑构造等其他类型构造主要控制油气运聚和保存条件。

3) 油气勘探过程中需要重点关注构造样式演化与其他油气成藏要素,如地层岩性与走滑构造活动的叠加。在一定烃源、盖层物质条件下,盆地早期断裂构造活动在碳酸盐岩地层中形成裂缝体系,可以作为一种新的储集体类型,成为勘探的有利目标。

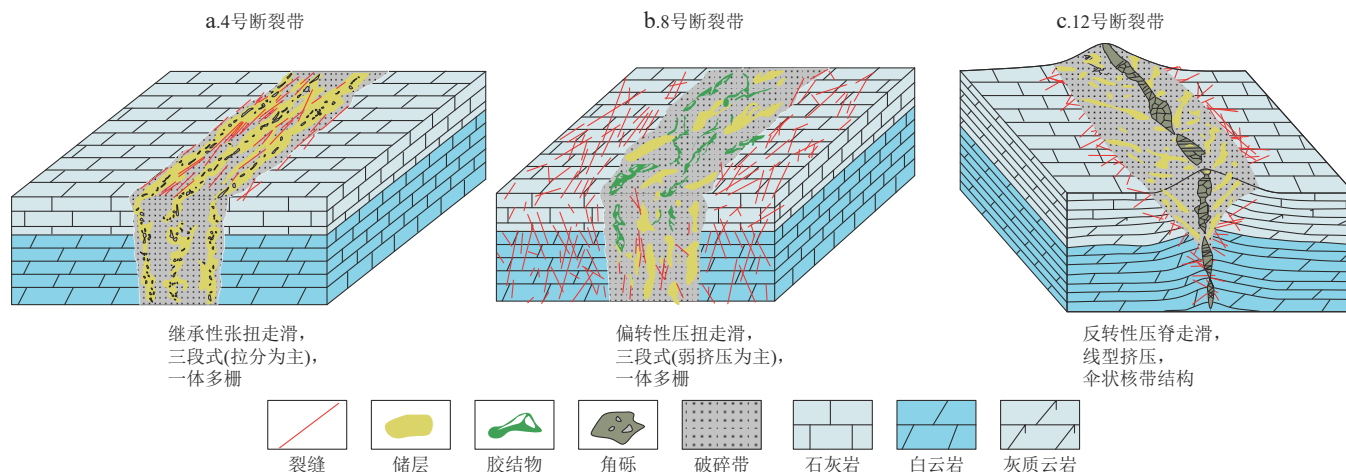


图10 塔里木盆地顺北地区不同断裂带储层模型

Fig. 10 Reservoir models of varying fault zones in the Shunbei area, Tarim Basin

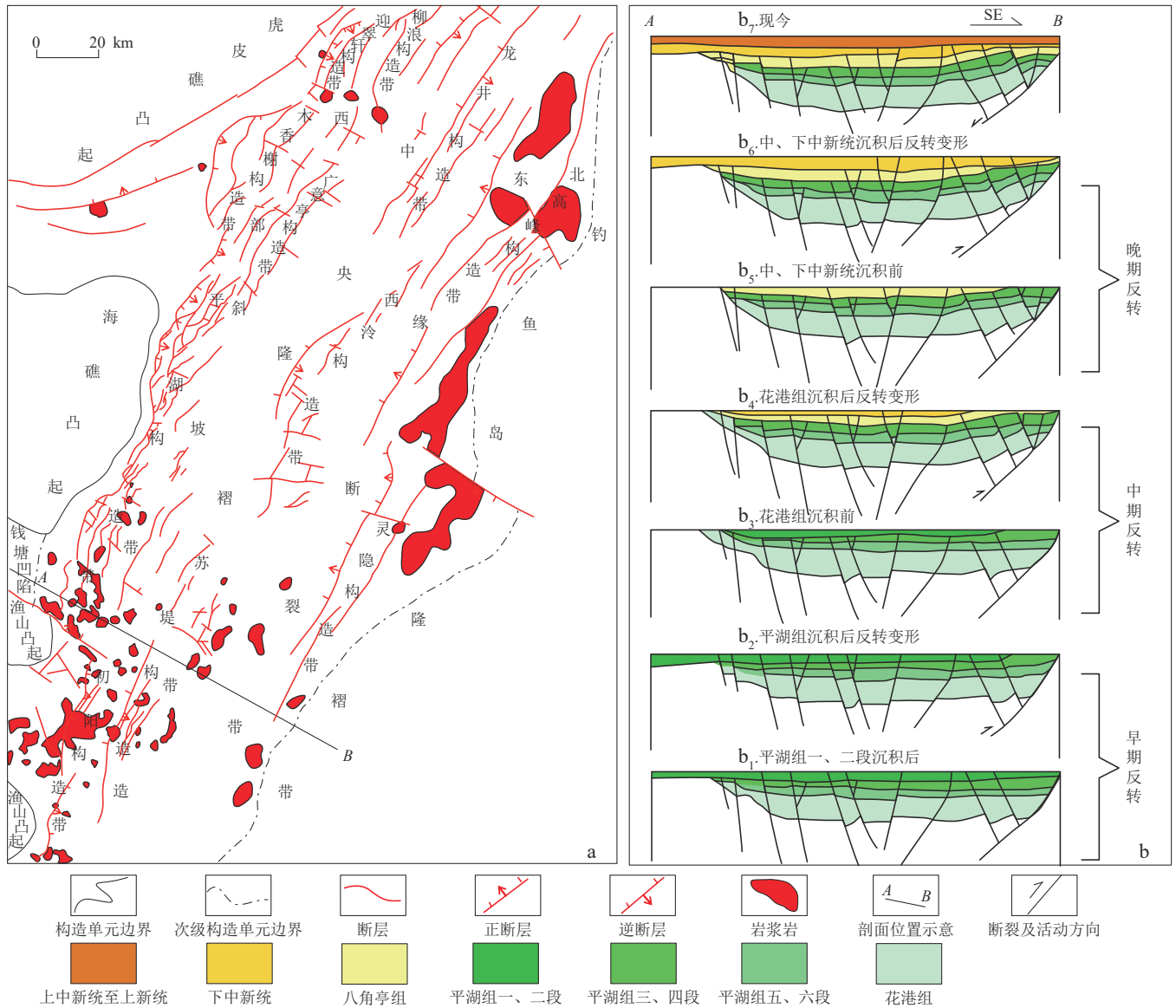


图 11 西湖凹陷构造纲要(a)及演化剖面示意图(b)(修改自文献[39])

Fig. 11 Geological structure outline map (a) and section showing the evolutionary process (b) of the Xihu Sag (modified after reference [39]) (剖面位置见图 a.)

参 考 文 献

- [1] 赵文智, 张光亚, 王红军, 等. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 1-8.
ZHAO Wenzhi, ZHANG Guangya, WANG Hongjun, et al. Basic features of petroleum geology in the superimposed petroliferous basins of China and their research methodologies [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 1-8.
- [2] 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.
ZHAI Guangming, SONG Jianguo, JIN Jiuqiang, et al. Plate tectonic evolution and its relationship to petroliferous basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [3] 李德生. 中国含油气盆地的构造类型[J]. 石油学报, 1982, 3

(3): 1-12.

- LI Desheng. Tectonic types of oil and gas basins in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(3): 1-12.
- [4] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 81-100.
DAI Jinxing, WANG Tingbin, SONG Yan, et al. Formation and distribution of medium-large-sized gas fields in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 81-100.
- [5] 朱夏. 中国中生代盆地构造和演化[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
ZHU Xia. Mesozoic Cenozoic basin structure and evolution in China [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [6] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
HUANG Jiqing, REN Jishun, JIANG Chunfa, et al. Geotectonic

- tectonics and its evolution in China[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [7] 李四光. 从大地构造看中国石油资源勘探的远景[J]. 石油地质, 1955, 16: 1-40.
- LI Siguang. Exploration prospects of China's oil resources according to the tectonics[J]. Petroleum Geology, 1955, 16: 1-40.
- [8] 田在艺, 张庆春. 沉积盆地控制油气赋存的因素[J]. 石油学报, 1993, (4): 1-19.
- TIAN Zaiyi, ZHANG Qingchun. Factors controlling oil and gas occurrence in a sedimentary basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1993, (4): 1-19.
- [9] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1548-1560.
- XU Changgui. Strike-slip transfer zone and its control on formation of medium and large-sized oilfields in Bohai Sea area [J]. Earth Science, 2016, 41(9): 1548-1560.
- [10] 郑孟林, 田爱军, 杨彤远, 等. 准噶尔盆地东部地区构造演化与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 907-917.
- ZHENG Menglin, TIAN Aijun, YANG Tongyuan, et al. Structural evolution and hydrocarbon accumulation in the eastern Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 907-917.
- [11] 周荔青, 江东辉, 张尚虎, 等. 东海西湖凹陷大中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 803-812.
- ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHANG Shanghu, et al. Formation conditions and exploration direction of large and medium oil and gas reservoirs in Xihu Sag, East China Sea[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2020, 42(5): 803-812.
- [12] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64-77.
- HE Dengfa, JIA Chengzao, DE Sheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77.
- [13] 何登发, 张磊, 吴松涛, 等. 准噶尔盆地构造演化阶段及其特征[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 845-861.
- HE Dengfa, ZHANG Lei, WU Songtao, et al. Tectonic evolution stages and features of the Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 845-861.
- [14] 夏庆龙, 田立新, 周心怀, 等. 渤海海域构造形成演化与变形机制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012: 60-63.
- XIA Qinglong, TIAN Lixin, ZHOU Xinhui, et al. Tectonic evolution and deformation mechanism in Bohai Sea area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 60-63.
- [15] 刘和甫, 夏义平, 殷进垠, 等. 走滑造山带与盆地耦合机制[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 121-132.
- LIU Hefu, XIA Yiping, YIN Jinyin, et al. Coupling mechanism of strike-slip orogen and basin [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 121-132.
- [16] 吴克强, 解习农, 裴健翔, 等. 超伸展陆缘盆地深部结构及油气勘探意义——以琼东南盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(3): 651-661.
- WU Keqiang, XIE Xinong, PEI Jianxiang, et al. Deep architecture of hyperextended marginal basin and implications for hydrocarbon exploration: A case study of Qiongdongnan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(3): 651-661.
- [17] 解习农, 赵帅, 任建业, 等. 南海后扩张期大陆边缘闭合过程及成因机制[J]. 地球科学, 2022, 47(10): 3524-3542.
- XIE Xinong, ZHAO Shuai, REN Jianye, et al. Marginal sea closure process and genetic mechanism of South China Sea during post-spreading period [J]. Earth Science, 2022, 47(10): 3524-3542.
- [18] HARDING T P, LOWELL J D. Structural styles, their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(7): 1016-1058.
- [19] 张凡芹, 王伟锋, 戴俊生. 沾化凹陷断层活动性及其对层序发育的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 253-259.
- ZHANG Fanqin, WANG Weifeng, DAI Junsheng. Fault activities and their controls on the development of lithologic sequences in Zhanhua Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 253-259.
- [20] 庾秀松, 陈孔全, 罗顺社, 等. 四川盆地东南缘齐岳山断裂构造特征与页岩气保存条件[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 1017-1027.
- TUO Xiusong, CHEN Kongquan, LUO Shunshe, et al. Structural characteristics of Qiyueshan fault and shale gas preservation at the southeastern margin of Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 1017-1027.
- [21] 郭颖, 汤良杰, 余腾孝, 等. 塔里木盆地玛扎塔格断裂带构造特征及其油气地质意义[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(1): 104-114.
- GUO Ying, TANG Liangjie, YU Tengxiao, et al. Structural characteristics and petroleum geological significances of Mazhatage fault belt in Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(1): 104-114.
- [22] 王毅, 张仲培, 张波, 等. 塔里木盆地巴楚地区大型膝褶带的发现及油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 914-924, 949.
- WANG Yi, ZHANG Zhongpei, ZHANG Bo, et al. Discovery of large kink-band structures and petroleum exploration implications in Bachu area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 914-924, 949.
- [23] 李东旭. 旋扭构造动力学——理论、方法及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 9-35.
- LI Dongxu. Torsion tectonic dynamics: Theory, methods, and applications [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 9-35.
- [24] 张莉, 岳乐平, 杨亚娟, 等. 反转构造盆地裂缝特征——以松辽盆地大庆三肇地区为例[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 361-363, 367.
- ZHANG Li, YUE Leping, YANG Yajuan, et al. Fracture features of reversed basin: Taking Sanzhao area of Songliao Basin for example [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 361-363, 367.
- [25] 孙自明, 何治亮, 牟泽辉. 准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 216-221.
- SUN Ziming, HE Zhiliang, MOU Zehui. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 216-221.
- [26] 汪新伟, 汪新文, 马永生. 准噶尔盆地南缘褶皱-冲断带的构造变换带特征[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 345-354, 394.
- WANG Xinwei, WANG Xinwen, MA Yongsheng. Characteristics

- of structure transform zones in the fold-thrust belts on the southern margin of Junggar Basin, northwest China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(3): 345-354, 394.
- [27] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 1-10.
GONG Zaisheng, CAI Dongsheng, ZHANG Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 1-10.
- [28] 邓尚, 李慧莉, 韩俊, 等. 塔里木盆地顺北5号走滑断裂中段活动特征及其地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(5): 990-998, 1073.
DENG Shang, LI Huili, HAN Jun, et al. Characteristics of the central segment of Shunbei 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin and its geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(5): 990-998, 1073.
- [29] 王冰洁, 王德英, 王鑫, 等. 渤海湾盆地辽中凹陷南洼走滑转换带特征及其对大、中型油田的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(6): 1347-1358.
WANG Bingjie, WANG Deying, WANG Xin, et al. Characteristics of strike-slip transition zone in southern Liaozhong Sag, Bohai Bay Basin and its control on large/medium-sized oilfields[J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(6): 1347-1358.
- [30] 吴奎, 徐长贵, 张如才, 等. 辽中凹陷南洼走滑伴生构造带发育特征及控藏作用[J]. *中国海上油气*, 2016, 28(3): 50-56.
WU Kui, XU Changgui, ZHANG Rucai, et al. Developmental characteristics and hydrocarbon accumulation controlling of strike-slip associated structure zone in southern Liaozhong Sag[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(3): 50-56.
- [31] 牛成民, 杨海风, 郭涛, 等. 郯庐断裂带辽东湾段变形特征及展布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(2): 265-276.
NIU Chengmin, YANG Haifeng, GUO Tao, et al. Deformation characteristics and distribution of Tan-Lu fault zone in Liaodong Bay Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(2): 265-276.
- [32] 柳永军, 朱文森, 杜晓峰, 等. 渤海海域辽中凹陷走滑断裂分段性及其对油气成藏的影响[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(7): 6-10, 4.
LIU Yongjun, ZHU Wensen, DU Xiaofeng, et al. Strike-slip fault subsections and its influence on hydrocarbon accumulation in Liaozhong Depression of Bohai Sea area[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(7): 6-10, 4.
- [33] 刘丰, 徐长贵, 王冰洁, 等. 辽中凹陷南洼LD16油田走滑伴生构造特征及控藏作用[J]. *地质科技情报*, 2017, 36(2): 105-111.
LIU Feng, XU Changgui, WANG Bingjie, et al. Strike-slip associated structures characteristics and hydrocarbon accumulation in LD16 Oilfield, South of Liaozhong Sag[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017, 36(2): 105-111.
- [34] 韩俊, 况安鹏, 能源, 等. 顺北5号走滑断裂带纵向分层结构及其油气地质意义[J]. *新疆石油地质*, 2021, 42(2): 152-160.
HAN Jun, KUANG Anpeng, NENG Yuan, et al. Vertical layered structure of Shunbei No. 5 strike-slip fault zone and its significance on hydrocarbon accumulation[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2021, 42(2): 152-160.
- [35] 云露. 顺北东部北东向走滑断裂体系控储控藏作用与突破意义[J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(3): 41-52.
YUN Lu. Controlling effect of NE strike-slip fault system on reservoir development and hydrocarbon accumulation in the eastern Shunbei area and its geological significance, Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(3): 41-52.
- [36] 云露, 朱秀香. 一种新型圈闭: 断控缝洞型圈闭[J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(1): 34-42.
YUN Lu, ZHU Xiuxiang. A new trap type: Fault-controlled fracture-vuggy trap[J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(1): 34-42.
- [37] YUAN Haowei, CHEN Shuping, NENG Yuan, et al. Composite strike-slip deformation belts and their control on oil and gas reservoirs: A case study of the northern part of the Shunbei 5 strike-slip deformation belt in Tarim Basin, northwestern China[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2021, 9: 755050.
- [38] DENG Shang, LI Huili, ZHANG Zhongpei, et al. Structural characterization of intracratonic strike-slip faults in the central Tarim Basin[J]. *AAPG Bulletin*, 2019, 103(1): 109-137.
- [39] 周荔青, 江东辉, 周兴海, 等. 东海西湖凹陷西斜坡断层—岩性油气藏富集评价体系与勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2022, 44(5): 747-754.
ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHOU Xinghai, et al. Evaluation system and exploration optimization for fault-lithologic reservoir on the western slope of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2022, 44(5): 747-754.
- [40] 徐国盛, 徐芳良, 袁海峰, 等. 西湖凹陷中央反转构造带花港组致密砂岩储层成岩环境演变与孔隙演化[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 43(4): 385-395.
XU Guosheng, XU Fanggen, YUAN Haifeng, et al. Evolution of pore and diagenetic environment for the tight sandstone reservoir of Paleogene Huagang Formation in the central reversal structural belt in Xihu Sag, East China Sea[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2016, 43(4): 385-395.
- [41] 蒋一鸣, 邹玮, 刘金水, 等. 东海西湖凹陷中新世末反转背斜构造成因机制: 来自基底结构差异的新认识[J]. *地球科学*, 2020, 45(3): 968-979.
JIANG Yiming, ZOU Wei, LIU Jinshui, et al. Genetic mechanism of inversion anticline structure at the end of Miocene in Xihu Sag, East China Sea: A new understanding of basement structure difference[J]. *Earth Science*, 2020, 45(3): 968-979.
- [42] 陈智远, 徐志星, 徐国盛, 等. 东海盆地西湖凹陷中央反转构造带异常高压与油气成藏的耦合关系[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(3): 570-581.
CHEN Zhiyuan, XU Zhixing, XU Guosheng, et al. Coupling relationship between abnormal overpressure and hydrocarbon accumulation in a central overturned structural belt, Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(3): 570-581.
- [43] WANG Yingxun, CHEN Jianfa, PANG Xiongqi, et al. Hydrocarbon generation and expulsion of tertiary coaly source rocks and hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2022, 229: 105170.