

冀中富油凹陷弱构造带油气成藏主控因素及模式

高长海¹, 查明¹, 葛盛权², 陈力³, 赵贤正⁴, 金凤鸣⁴

[1. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油 塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000;

3. 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710018; 4. 中国石油 华北油田分公司, 河北 任丘 062552]

摘要:冀中富油凹陷弱构造带是指文安斜坡带和蠡县斜坡带,其勘探程度较低,但具备良好的资源潜力和勘探前景。通过对成藏地质要素的综合分析,结合物理模拟实验,阐明弱构造带油气成藏主控因素,揭示油气成藏规律,建立油气成藏模式,为深入开展弱构造带的油气勘探提供理论指导。研究表明,冀中富油凹陷弱构造带的油气成藏主要受烃源岩、输导体系和鼻状构造的控制,烃源岩控制了油气分布的范围和富集程度,输导体系控制了油气分布的层位和油气藏类型,鼻状构造则控制了油气运移的方向。根据烃源岩与输导体系的配置关系,弱构造带主要存在两种油气成藏模式:一种是宽缓斜坡带远源-阶梯状油气成藏模式,油气在超压和浮力的共同驱动下,以砂体的侧向输导为主,配以断层的垂向调节呈阶梯状运移,具有多层系、远距离成藏特征;另一种是平缓斜坡带近源-Z字型油气成藏模式,油气主要在浮力的驱动下,通过断层的垂向调节和砂体的侧向输导呈“Z”字型运移,具有多层系、近距离成藏特征。

关键词:成藏动力;成藏模式;弱构造带;冀中拗陷

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Main controlling factors and models of hydrocarbon accumulation in weak structural belts of oil-rich sags, the Jizhong Depression

Gao Changhai¹, Zha Ming¹, Ge Shengquan², Chen Li³, Zhao Xianzheng⁴, Jin Fengming⁴

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China; 2. PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China; 3. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 4. PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: Weak structural belts in this paper refer to Wenan and Lixian slope zones of the oil-rich sags in Jizhong Depression, where the exploration maturity is low but resource potentials are large and exploration prospects are good. Based on the integrated analysis of geological elements and in combination with physical simulation experiments, the paper illustrates the main controlling factors of hydrocarbon accumulation, reveals hydrocarbon accumulation patterns and establishes hydrocarbon accumulation models, so as to provide theoretical guidance for further oil and gas exploration of the weak structural belt. The result shows that the main controlling factors of hydrocarbon accumulation in weak structural belt are source rock, carrier system and nose structure. Among them, the source rock controlled the distribution range and the enrichment degree of hydrocarbons, the carrier system controlled the horizons of hydrocarbon accumulation and the reservoir types, and the nose structure controlled the hydrocarbon migration direction. Two hydrocarbon accumulation models were established for the weak structural belt based on the configuration relationships between the source rock and the carrier system. One is distal stepwise accumulation model on wide-gentle slope zone, featuring in joint driving of overpressure and buoyancy, stepwise migration dominated by lateral transportation through sandbody and adjusted vertically by faults, accumulation in multi-layers far from the source rocks. The other is proximal Z-style accumulation model on gentle slope belt, featuring in driving of buoyancy, Z-style migration through vertical adjustment of faults and lateral transportation of sandbodies, the accumulation in multiple layers near the source rocks.

Key words: accumulation dynamic, accumulation model, weak structural belt, Jizhong Depression

冀中富油凹陷是指冀中拗陷中油气资源大、勘探和开发效果好、油气资源潜力仍然很大的饶阳凹陷、霸县

凹陷和廊固凹陷^[1]。根据基底面曲率、地层厚度变化率、断层密度和断层落差面密度等定量评价指标,将冀中

收稿日期:2014-01-08;修订日期:2014-03-03。

第一作者简介:高长海(1977—),男,博士、讲师,油气成藏机理与分布规律。E-mail: gch260725@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05001-001);山东省自然科学基金面上项目(ZR2013DM016);中央高校基本科研业务费专项基金项目(14CX02034A)。

表1 冀中富油凹陷构造带类型划分

Table 1 Classification of structural belt types in oil-rich sags, the Jizhong Depression

构造带类型	基底面曲率/ (10^{-5} m^{-1})	地层厚度变化率/ km^{-1}	四级断层密度/ (条· km^{-2})	断层落差面密度/ ($\frac{1}{12} \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$)	典型区带
强构造带	>5	>0.05	>0.4	>3	大柳泉、河西务、岔河集、 任丘、留楚-留路
中构造带	3~5	0.03~0.05	0.2~0.4	1~3	鄭州、赵皇庄
弱构造带	<3	<0.03	<0.2	<1	文安斜坡带、蠡县斜坡带 各凹陷的洼槽带

富油凹陷构造带类型划分为强构造带、中构造带和弱构造带(表1)。在此基础上,依据控制断陷湖盆沉积、成藏的构造演化特征以及油气富集规律,进一步将冀中富油凹陷油气聚集区构造带类型划分为强构造带(相当于断陷湖盆的陡坡带和中央隆起带)、弱构造带(相当于断陷湖盆的缓坡带)和洼槽带(相当于断陷湖盆的生烃中心,由于洼槽带与缓坡带在构造、沉积、成藏等方面的差异,这里将洼槽带从弱构造带中剥离出来)。

自“十一五”以来,在“整体研究、整体认识、整体部署、整体勘探”研究思路的指导下,冀中富油凹陷进入了“二次勘探”阶段,逐渐将勘探目标由强构造带转向弱构造带和洼槽带,油气勘探取得了显著成效,尤其是在文安斜坡带和蠡县斜坡带发现并落实了 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 级规模储量区^[2-3],表明成熟探区的弱构造带具有良好的勘探前景。所谓弱构造带是指构造活动相对比较弱的构造区带,其地层受力弱,弯曲程度低,断裂密度低、规模小,是岩性、断块、断层-岩性、地层等圈闭类型比较发育的地区,文安斜坡带和蠡县斜坡带便是冀中富油凹陷弱构造带的典型代表。由于弱构造带的油气成藏特征与强构造带和洼槽带存在明显区别,且勘探程度较低,因此一直缺乏深入、系统的成藏研究,制约了弱构造带的油气勘探进程。本文以文安斜坡带和蠡县斜坡带为例,通过对成藏地质要素的综合分析,结合物理模拟实验,阐明弱构造带油气成藏的主控因素,揭示油气富集规律,建立油气成藏模式,为深入开展弱构造带的油气勘探提供理论指导。

1 研究区概况

冀中富油凹陷弱构造带主要是指文安斜坡带和蠡县斜坡带(图1)。文安斜坡带位于冀中坳陷霸县凹陷东部,整体呈北东向展布,北接武清凹陷,南至饶阳凹陷,西临霸县、鄭州和马西洼槽,东抵大城凸起,勘探面积约 $2\,000 \text{ km}^2$ 。该斜坡带在前古近纪为西抬东倾的古构造斜坡,古近纪时期受区域性东西向拉张应力作用,霸县凹陷主体迅速沉降,位于凹陷东侧的文安古斜坡发生西降东翘的构造反转,成为东抬西倾的沉积斜坡(倾角在 $4^\circ \sim 10^\circ$ 之间);新近纪构造活动减弱,渐新世地

层由西向东逐层超覆^[4-6]。文安斜坡带油气成藏条件优越,目前已发现苏桥、信安镇、文安、史各庄等油气田,成为冀中坳陷的重要油气探区。蠡县斜坡带位于冀中坳陷饶阳凹陷西部,整体呈北东向展布,北起雁翎潜山,南到深泽低凸起,西至高阳低凸起,东临任西、肃宁洼槽,勘探面积约 $2\,000 \text{ km}^2$ 。该斜坡带是在前古近纪高阳凸起上发育起来的一个大型沉积斜坡(倾角 $<4^\circ$)。古近系发育时期,斜坡带未发生大的构造运动,构造相对简单,断裂发育少且规模小,地层自东而西超覆减薄^[7-8]。蠡县斜坡带南部和北部油气成藏条件差异明显,目前发现的油气主要分布于北部,整体勘探程度低。

2 弱构造带油气成藏动力系统

多年的勘探研究证实,油气的运聚与盆地的压力系统关系紧密,超压系统中剩余流体压力是油气运移的主要动力,常压系统中浮力为油气运移的主要动力^[9-11]。由于弱构造带位于生烃洼槽的边缘,且坡度较缓,因此具有其独特的油气成藏动力系统,斜坡内带多处于超压系统中,成藏动力以超压为主,而斜坡中、外带多处于常压系统中,成藏动力以浮力为主。霸县凹陷古近纪地层异常压力发育,以 $E_s^3/(E_s^4 + Ek)$ (沙河街组三段与沙河街组四段及孔店组)之间不整合面为界,存在两套超压系统。上套超压系统处于弱超压状态,压力系数介于 $1.0 \sim 1.2$ 之间;下套超压系统则处于强超压状态,压力系数最大可达 1.5 (图2),这也是牛东1潜山发育“倒灌”成藏模式的主要控制因素。因此,文安斜坡带自内带至外带,地层压力系统由超压逐渐过渡为弱超压直至常压,成藏动力也由剩余流体压力逐渐过渡为浮力,从而驱使油气从洼槽区向斜坡带发生较远距离的运移。

3 弱构造带油气成藏主控因素

3.1 烃源岩控制油气分布范围,油气围绕生油洼槽富集

冀中富油凹陷发育了霸县、任西、马西、鄭州和淀北

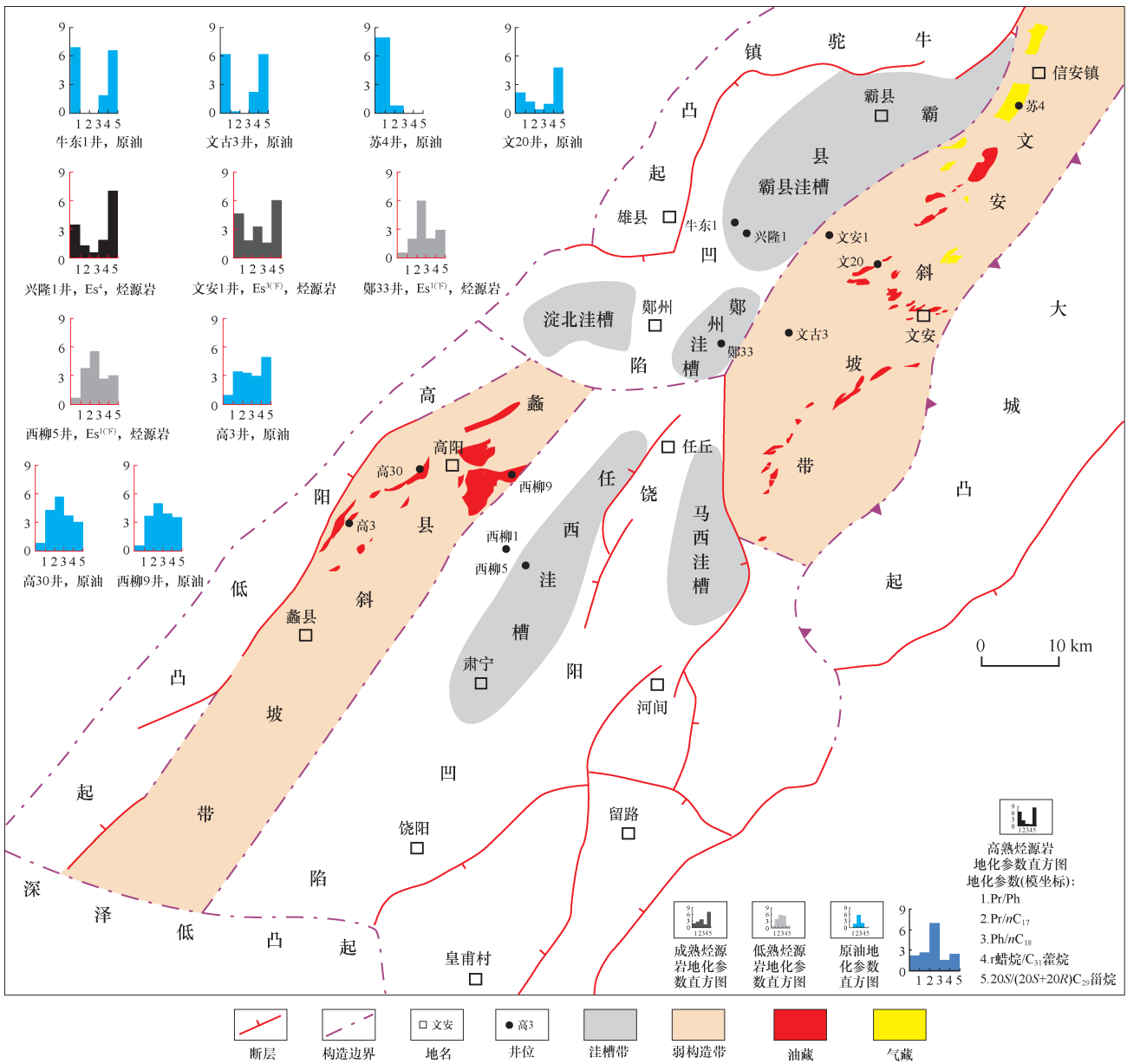


图 1 冀中富油凹陷弱构造带分布

Fig. 1 Distribution of weak structural belts in oil-rich sags, the Jizhong Depression

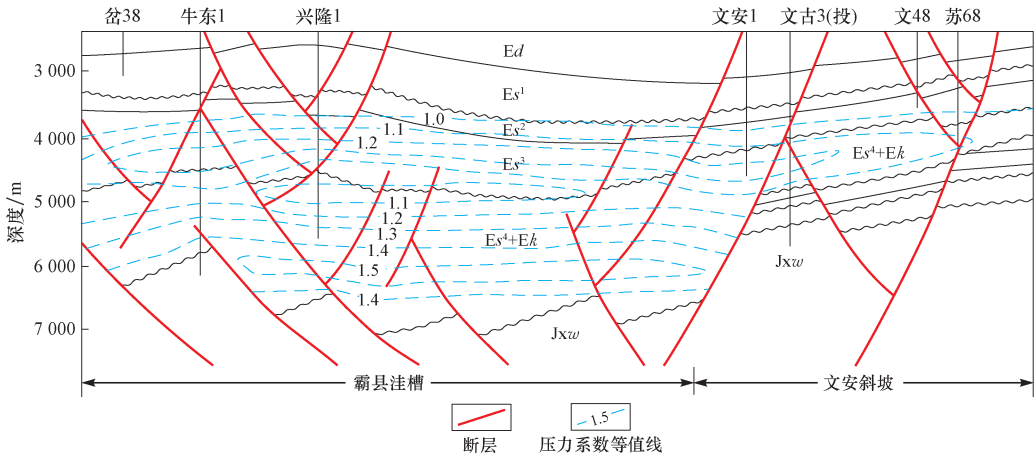


图 2 冀中拗陷霸县凹陷地层压力系数剖面分布

Fig. 2 Formation pressure coefficient profile of Baxian Sag, the Jizhong Depression

Ed-东营组;Es¹-沙河街组一段;Es²-沙河街组二段;Es³-沙河街组三段;Es⁴+Ek-沙河街组四段+孔店组

等多个生油洼槽,但这些生油洼槽的面积及其供烃能力存在较大差异,直接影响和控制了弱构造带油气分布的范围和富集程度(图 1)。例如文安斜坡带中北部的油气来自于霸县凹陷中面积最大、生烃能力最强的霸县洼槽,且围绕洼槽呈环带状分布,是文安斜坡带主要的油气分布区;而文安斜坡带南部的油气来自于面积较小、生烃能力较差的马西洼槽和郑州洼槽,这也是文安斜坡带南部油气富集程度较低的主要原因。但整体上,文安斜坡带具有满坡含油的特点。烃源岩发育情况对油气差异分布的控制作用,在蠡县斜坡带表现得更为明显。蠡县斜坡带北部的油气来自于淀北洼槽和任西洼槽,油源充足,导致北部具有满坡含油的特点;而蠡县斜坡带南部由于距离任西洼槽较远,且坡度较缓,捕获油气的能力有限,油源不足,导致南部具有零星分布的特点。

3.2 输导体系控制油气分布层位,油气藏类型具规律性变化

断裂^[12-14]、连通砂体^[15-17]、不整合^[18-20]等均可作为油气输导体,它们在时空上的有效配置构成了油气输导体系^[21-23],成为连接烃源岩和圈闭的“桥梁和纽带”,控制油气运移路径和聚集部位。由于独特的构造、沉积演化背景,弱构造带发育的砂体不仅物性好,且具备良好的连通性,是油气侧向运移的主要载体;断层活动性普遍较弱,且规模相对较小,多在局部范围内以垂向输导为主;不整合亦是油气侧向运移的良好载体,但主要体现在斜坡外带。因此,弱构造带的油气以砂体的侧向输导和断层的垂向调节为主,共同组成阶梯型或“Z”字型油气输导体系(表 2),直接控制了弱构造带的油气分布特征。

表 2 冀中富油凹陷弱构造带油气输导体系类型
Table 2 Carrier system types of weak structural belts in oil-rich sags, the Jizhong Depression

类型	亚类型	运移主通道	主要分布区带
储集型	砂体型	连通孔隙、裂隙	斜坡内带岩性圈闭
	碳酸盐岩型	溶蚀孔、洞、缝	斜坡内带潜山内幕藏
断裂型	断层型	断层	斜坡内带构造圈闭
	裂隙型	微裂隙	斜坡内带岩性圈闭
不整合型	—	不整合	斜坡外带地层圈闭
复合型	阶梯型	砂体-断层-砂体/不整合	文安斜坡带
	“Z”字型	砂体-断层	蠡县斜坡带

文安斜坡带的油气沿砂体-断层-砂体/不整合组成的阶梯型输导体系自生油洼槽向斜坡外带运移,在砂体侧向输导和断层垂向调节的联合控制下,导致油气分布的层位依次变新,纵向上多层系含油,内带分布沙(沙河街组)一段油藏,中带分布沙一段和东营组油藏,外带分布东营组和馆陶组油藏,这也解释了为什么在远离油源的斜坡外带仍有油气的富集。同时,油藏类型具有“整体多样、分区差异”的特点,内带以岩性、潜山内幕等油藏为主,中带以断层-岩性油藏为主,外带以断层-岩性、地层等油藏为主(图 3)。蠡县斜坡带同样具有油气差异分布的特征,但其分异程度远不如文安斜坡带,这主要是由于两个斜坡带在构造、沉积、成藏条件等方面的差异所致。

3.3 鼻状构造控制油气运移方向,油气优先向鼻状构造富集

鼻状构造(构造脊)为弱构造带上的正向构造,直接面向生油洼槽,是油气长期运聚的主要指向区^[24-25],控制着油气的分布。这些鼻状构造通常被断层复杂化,同时又与砂体相配置,形成了以鼻状构造为背景的断块群

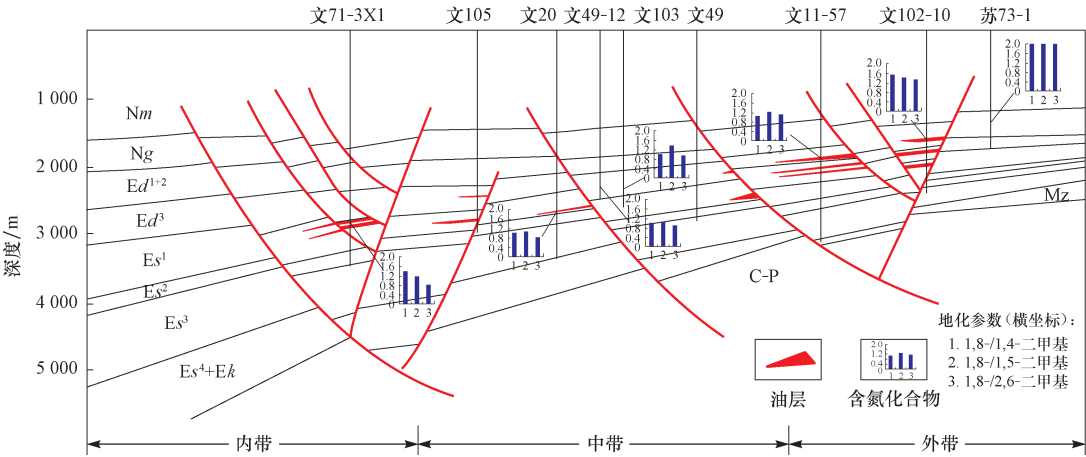


图 3 冀中拗陷文安斜坡带油气运移示踪
Fig. 3 Tracer profile of hydrocarbon migration of Wen'an slope belt, the Jizhong Depression
Nm-明化镇组; Ng-馆陶组; Ed¹⁺²-东营组一、二段; Ed³-东营组三段; Es¹-沙河街组一段;
Es²-沙河街组二段; Es³-沙河街组三段; Es⁴+Ek-沙河街组四段+孔店组

油气富集带。蠡县斜坡带油气主要富集于北部的高阳-西柳等鼻状构造;文安斜坡带油气主要富集于苏桥、文安、长丰镇以及议论堡等4个宽缓的北西向鼻状构造,其中苏桥鼻状构造和文安鼻状构造占已探明油气储量的90%以上,而南部的构造相对不发育,油气沿断层呈串珠状分布,且油气藏规模小(图4)。

4 弱构造带油气成藏模式

由于油源、油气成藏动力、油气输导体系等条件的差异,冀中富油凹陷弱构造带主要发育两种油气成藏模式:一种是以文安斜坡带为代表的宽缓斜坡带远源-阶梯状油气成藏模式,一种是以蠡县斜坡带为代表的平缓斜坡带近源-Z字型油气成藏模式。

4.1 宽缓斜坡带远源-阶梯状油气成藏模式

文安斜坡带延伸范围广,处于高压向常压的过渡区,油气在压差和浮力的共同作用下沿断裂-砂体-不整合组成的阶梯状输导体系自洼槽带向斜坡带运移(图5)。由于砂体和不整合比较发育,且成藏动力条

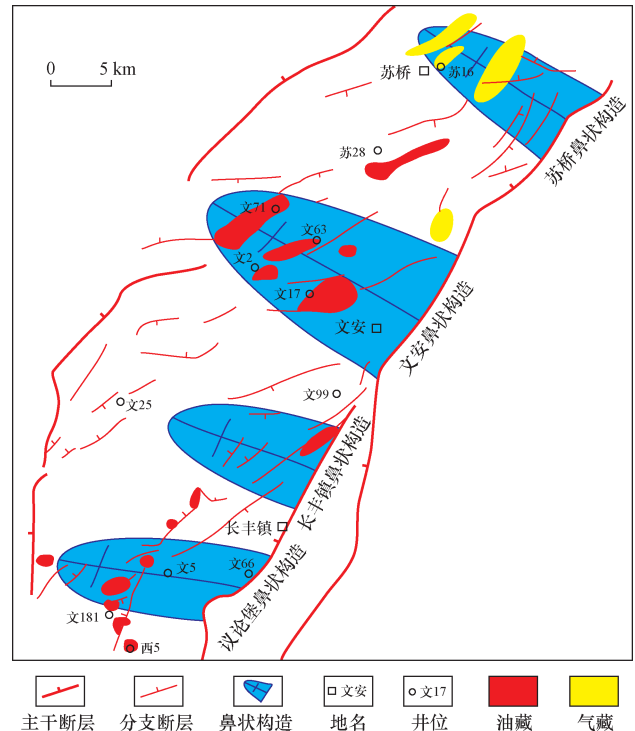


图4 冀中坳陷文安斜坡带油气藏平面分布
Fig. 4 Plane distribution of reservoirs in Wen'an slope belt, the Jizhong Depression

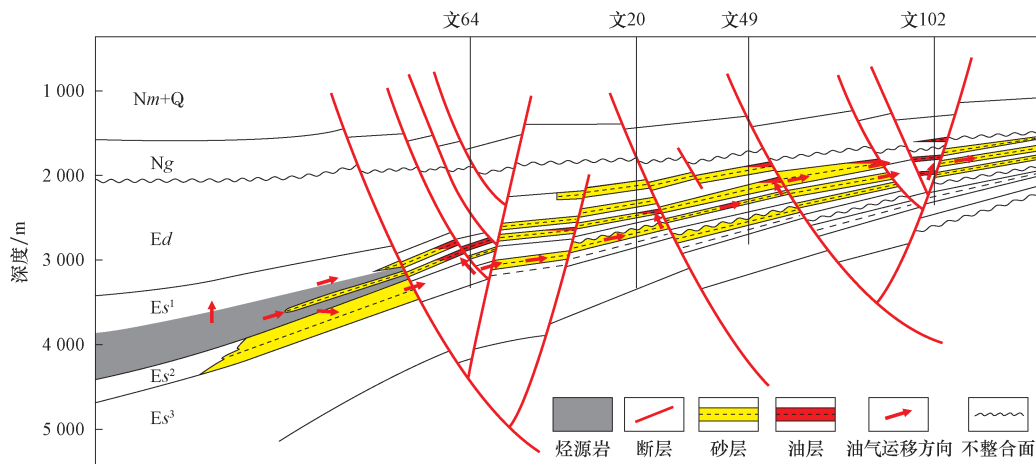


图5 冀中坳陷宽缓斜坡带远源-阶梯状油气成藏模式

Fig. 5 Distal stepwise accumulation model on wide-gentle slope zone, the Jizhong Depression

Nm + Q-明化镇组 + 第四系; Ng-馆陶组; Ed-东营组; Es¹-沙河街组一段; Es²-沙河街组二段; Es³-沙河街组三段

件较好,油气可以做长距离的侧向运移。油气在侧向运移过程中受断层的垂向调节作用,从一个断块运移至另一个断块,从深层运移至浅层,当油气受到断层的侧向封堵时便聚集成藏;在斜坡中外带东营组砂体和断层构成输导体系,侧向上油气在东营组渗透性砂体中运移,经断层的垂向调节,最终运移至新近纪地层的断层-岩性和地层等圈闭中聚集成藏。鼻状继承性隆起是油气运聚的有利区,斜坡带的油气整体表现为首先向鼻状构造脊汇聚,然后沿构造脊向斜坡的外带运移,油气的运移贯穿整个斜坡带,造成整个斜坡带的多层含油,且含油层位由内带至外带依次变新。

4.2 平缓斜坡带近源-Z字型油气成藏模式

蠡县斜坡带由于地层倾角较小,且多处于常压区,成藏动力条件较差,洼槽中的油气难以进行长距离的侧向运移,油气主要来自斜坡带自身的生油层,在浮力作用下沿砂体和生长断层组成的“Z”字型输导体系运移。生油层生成的油气首先沿砂体或不整合侧向短距离运移,当遇到反向正断层时受侧向遮挡作用聚集成藏,部分油气沿断层垂向运移,在断层上升盘的圈闭中聚集成藏,可多层富集(图6)。与宽缓斜坡带类似,鼻状继承性隆起同样是平缓斜坡带油气运聚的指向区,

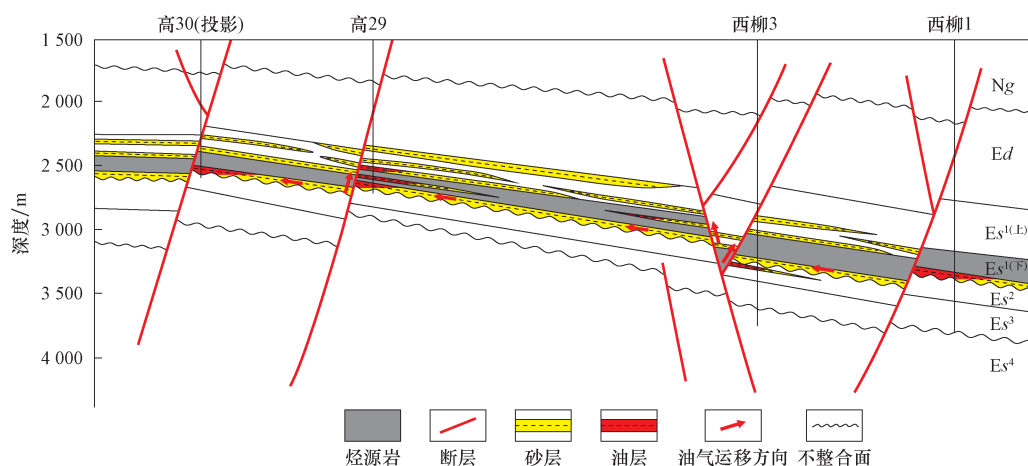


图6 冀中拗陷平缓斜坡带近源-Z字型油气成藏模式

Fig. 6 Proximal Z-style accumulation model on gentle slope belt, the Jizhong Depression

Ng-馆陶组;Ed-东营组;Es^{1(上)}-沙河街组一段上亚段;Es^{1(下)}-沙河街组一段下亚段;Es²-沙河街组二段;Es³-沙河街组三段;Es⁴-沙河街组四段

油气在浮力的作用下向鼻状构造脊汇聚,并在鼻状构造脊上的断层发育带聚集成藏;与宽缓斜坡带不同,平缓斜坡带的油气运移距离短,仅在生长断层附近才可见多层含油的特征,并没有表现出明显的由斜坡内带至斜坡外带含油层位依次变新的差异分布特征。

5 结论

1) 冀中富油凹陷油气聚集区类型划分为强构造带、弱构造带和洼槽带。其中,弱构造带是今后深化勘探的重要区带。

2) 弱构造带具有其独特的油气成藏动力系统,自内带至外带地层压力系统由超压逐渐过渡为弱超压直至常压,成藏动力也由剩余流体压力逐渐过渡为浮力,从而驱使油气从洼槽区向斜坡带发生较远距离的运移。

3) 弱构造带的油气成藏主要受控于烃源岩的面积及其供烃能力、输导体系的类型以及鼻状构造的分布,这些因素共同控制了油气运移的方向、油气分布的层位及范围、油气富集程度以及油气藏类型等。

4) 根据现有勘探及研究成果,弱构造带油气藏可总结为两种油气成藏模式,即以文安斜坡带为代表的宽缓斜坡带远源-阶梯状油气成藏模式和以蠡县斜坡带为代表的平缓斜坡带近源-Z字型油气成藏模式。

参考文献

- [1] 易士威,王权.冀中拗陷富油凹陷勘探现状及勘探思路[J].石油勘探与开发,2004,31(3):82-85.
Yi Shiwei, Wang Quan. New concept of exploration strategy for the oil-rich Jizhong Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 82-85.
- [2] 赵贤正,卢学军,王权.富油气凹陷的二次勘探[J].中国石油勘探,2010,15(2):1-7.
Zhao Xianzheng, Lu Xuejun, Wang Quan. Secondary exploration in

- oil-rich sags[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(2): 1-7.
- [3] 赵贤正,卢学军,崔周旗,等.断陷盆地斜坡带精细层序地层研究与勘探成效[J].地学前缘,2012,19(1):10-19.
Zhao Xianzheng, Lu Xuejun, Cui Zhouqi, et al. Detailed research of fine sequence stratigraphy and exploration results in the slope zone of faulted basin[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 10-19.
- [4] 徐真,张春明.冀中地区文安油田原油非均质性及其意义[J].石油与天然气地质,2010,31(3):321-326.
Xu zhen, Zhang Chunming. Heterogeneity of crude oil from Wen'an oilfield in Jizhong area and its implications[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 321-326.
- [5] 杨伟荣,钱铮,张欣,等.冀中地区文安斜坡带成藏特征研究[J].岩性油气藏,2008,20(3):49-53.
Yang Weirong, Qian Zheng, Zhang Xin, et al. Accumulation characteristics in Wen'an slope belt in Jizhong Depression[J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(3): 49-53.
- [6] 胡望水,何瑶瑶,李涛,等.霸县凹陷文安斜坡带构造圈闭及构造油气藏[J].海洋地质动态,2010,26(11):24-29.
Hu Wangshui, He Yaoyao, Li Tao, et al. The structural traps and oil-gas accumulations on Wen'an slope of Baxian Sag[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(11): 24-29.
- [7] 崔周旗,李文厚,李莉,等.冀中饶阳凹陷蠡县斜坡古近系沙河街组沙二段及沙一段下亚段沉积相与隐蔽油藏[J].古地学报,2005,7(3):373-381.
Cui Zhouqi, Li Wenhui, Li Li, et al. Sedimentary facies and subtle petroleum reservoir of the member 2 and lower submember of member 1 of Shahejie Formation of Paleogene on Lixian slope of Raoyang Sag, central Hebei Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(3): 373-381.
- [8] 赵贤正,金凤鸣,刘井旺,等.饶阳凹陷蠡县斜坡中北段精细勘探与重要发现[J].中国石油勘探,2010,15(2):8-15.
Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Liu Jingwang, et al. Precise exploration and important discoveries in central northern Lixian slope of Raoyang Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(2): 8-15.
- [9] 陈发景,田世澄.压实与油气运移[M].武汉:中国地质大学出版社,1989:45-77.
Chen Fajing, Tian Shicheng. Compaction and petroleum migration [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989: 45-77.
- [10] 田世澄,孙自明,傅金华,等.论成藏动力学与成藏动力系统[J].石油与天然气地质,2007,28(2):129-138.
Tian Shicheng, Sun Ziming, Fu Jinhua, et al. A discussion on dynamics and dynamic system for hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 129-138.

- Zhang Cuimei, Liu Xiaofeng. The boundary faults and basin-formation mechanism of Nanpu sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 33(4): 581–587.
- [5] 王华, 赵淑娥, 林正良, 等. 南堡凹陷东营组巨厚堆积的关键控制要素及其油气地质意义[J]. *地质前缘*, 2012, 19(1): 108–120.
- Wanghua, Zhao Shue, Lin Zhengling, et al. The key control factors and its petroleum and geological significance of extra-thick deposition in Dongying Formation, Nanpu Sag [J]. *EarthScience Frontiers*, 2012, 19(1): 108–120.
- [6] 徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(4): 437–443.
- Xu Anna, Zheng Hongju, Dong Yuexia, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction in Dongying Formation of Nanpu sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(4): 437–443.
- [7] 姜华, 王华, 林正良, 等. 南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 977–983.
- Jiang Hua, Wang Hua, Lin Zhengliang, et al. Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene period in Nanpu Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 977–983.
- [8] 童亨茂, 赵宝银, 曹哲, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统成因的构造解析[J]. *地质学报*, 2013, 87(11): 1647–1661.
- Tong Hengmao, Zhao Baoyin, Cao Zhe, et al. Structural analysis of faulting system origin in the Nanpu sag, Bohai Bay Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(11): 1647–1661.
- [9] 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藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 192–198.
- Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 192–198.
- [10] 史冠中, 王华, 徐备, 等. 南堡凹陷柏各庄断层活动特征及对沉积的控制[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(1): 85–90.
- Shi Guanzhong, Wang Hua, Xu Bei, et al. Activity of Baigezhuang fault of Nanpu depression and its controlling on sedimentation [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(1): 85–90.
- [11] 姜华, 王建波, 张磊, 等. 南堡凹陷西南庄断层分段活动性及其对沉积的控制作用[J]. *沉积学报*, 2010, 28(6): 1047–1053.
- Jiang Hua, Wang Jianbo, Zhang Lei, et al. Segment activity of Xinnanzhuang fault in Nanpu sag and its controlling on sedimentary process [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(6): 1047–1053.
- [12] 吕延防, 许辰璐, 付广, 等. 南堡凹陷中浅层盖—断组合控油模式及有利含油层位预测[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(1): 86–97.
- Lü Yanfang, Xu Chenlu, Fu Guang, et al. Oil-controlling models of caprock-fault combination and prediction of favorable horizons for hydrocarbon accumulation in middle-shallow sequences of Nanpu sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(1): 86–97.
- [13] 黄曼宁, 董月霞, 庞雄奇, 等. 南堡凹陷构造型油气藏分布主控因素及预测方法[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(5): 695–704.
- Huang Manning, Dong Yuexia, Pang Xiongqi, et al. Controlling factors of structural reservoir distribution and its prediction method in Nanpu depression, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(5): 695–704.
- [14] 孙永河, 赵博, 董月霞, 等. 南堡凹陷断裂对油气运聚成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(4): 540–549.
- Sun Yonghe, Zhao Bo, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in the Nanpu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(4): 540–549.

(编辑 董立)

(上接第600页)

- [11] Grauls D. Overpressures; causal mechanisms, conventional and hydro-mechanical approaches [J]. *Oil & Gas Science and Technology*, 1999, 54(6): 667–6781.
- [12] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1991, 14(2): 161–180.
- [13] Aydin A. Fractures, faults and hydrocarbon entrapment, migration and flow [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17: 797–814.
- [14] 魏福军, 高志前, 樊太亮, 等. 塔里木盆地塔中地区输导体系及成藏效应[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(2): 266–273.
- Wei Fujun, Gao Zhiqian, Fan Tai liang, et al. Carrier system and its effects on the hydrocarbon pooling in Tazhong area, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(2): 266–273.
- [15] Nie F J, Li S T, Wang H. Lateral migration pathways of petroleum in the Zhu III sub-basin, Pearl River Mouth Basin, south China sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18: 561–575.
- [16] 向才富, 夏斌, 谢习农, 等. 松辽盆地西部斜坡带油气运移主输导通道[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 204–208.
- Xiang Caifu, Xia Bin, Xie Xinong, et al. Major hydrocarbon migration pathway system in western slope zone of Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 204–208.
- [17] 曹剑, 胡文瑄, 姚素平, 等. 准噶尔盆地储层中的锰元素及其原油运移示踪作用[J]. *石油学报*, 2009, 30(5): 705–710.
- Cao Jian, Hu Wenxuan, Yao Suping, et al. Manganese in reservoir calcite cement and its implication for tracing oil migration in Junggar Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(5): 705–710.
- [18] 潘钟祥. 不整合对油气运聚的重要性[J]. *石油学报*, 1983, 4(4): 1–10.
- Pan Zhongxiang. Significance of unconformity to oil and gas migration and accumulation [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1983, 4(4): 1–10.
- [19] 高长海, 查明. 不整合运移通道类型及输导油气特征[J]. *地质学报*, 2008, 82(8): 1113–1120.
- Gao Changhai, Zha Ming. The types of unconformity migration passages and characteristics of hydrocarbon transport [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(8): 1113–1120.
- [20] Wu K Y, Douglas P, Zha M. Unconformity structures controlling stratigraphic reservoir in the north-west margin of Junggar Basin, North-west China [J]. *Front. Earth Sci.*, 2013, 7(1): 55–64.
- [21] Sehowalle T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(5): 723–768.
- [22] Hindle A D. Petroleum migration pathway and charge concentration: a three-dimensional model [J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(9): 1451–1481.
- [23] 张照录, 王华, 杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(2): 133–135.
- Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. Study on passage system of petroliferous Basins [J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(2): 133–135.
- [24] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. *Journal of the Geological Society*, 1987, 144: 327–347.
- [25] 李明诚. 油气运移基础理论与油气勘探[J]. *地球科学*, 2004, 29(4): 379–383.
- Li Mingcheng. Basic principles of migration and hydrocarbon exploration [J]. *Earth Science*, 2004, 29(4): 379–383.

(编辑 张玉银)