

文章编号:1673-5005(2011)05-0037-07

惠民南部地区油气运移通道组合类型及其成藏作用

李继岩¹, 谭明友², 吴孔友¹, 宋国奇^{1,3}

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555; 2. 中石化胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257000;
3. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司, 山东 东营 257000)

摘要:根据油气单一运移通道特征,建立惠民凹陷南部地区油气运移通道组合类型,并系统总结其成藏作用。结果表明:惠民凹陷南部地区主要发育连通砂体、断层及不整合 3 种油气运移通道,形成了砂体-断层-砂体、砂体-断层-不整合和砂体-不整合 3 种组合类型;这些组合类型不仅控制了油气运移模式,发育反“Z”字型输导运移模式、阶梯状输导运移模式等,而且控制了油气空间分布特征;砂体-断层-不整合型和砂体-不整合型决定曲堤地区油气具有“多层系分布、油气藏类型多样、运移距离远”的特征;单一的砂体-断层-砂体组合类型决定钱官屯地区油气具有“单层系分布、油气藏类型单一、运移距离近”的特点。

关键词:惠民凹陷南部; 运移通道; 组合类型; 成藏作用

中图分类号:TE 122.1

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2011.05.007

Composite models of migration pathways and their controls over hydrocarbon accumulation in the south of Huimin depression

LI Ji-yan¹, TAN Ming-you², WU Kong-you¹, SONG Guo-qi^{1,3}

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;
2. Geophysical Research Institute in Shengli Oilfield, Dongying 257000, China;
3. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: The composite models of migration pathways in the south of Huimin depression were established based on the characteristics of single oil and gas migration pathways, and their contributions to hydrocarbon accumulation were evaluated. The results show that the connective sandbody, fault and unconformity are mainly developed in the south of Huimin depression. They can be combined to form three composite models: sand-fault-sand, sand-fault-unconformity and sand-unconformity. These composite models dominate the migration patterns of hydrocarbons by forming anti-Z type and ladder type migrational patterns. In addition, they also control the hydrocarbon spatial distribution. Composite models in Qu-di include sand-fault-unconformity and sand-unconformity, which results in the diversity of oil-bearing series and reservoir types as well as the character of hydrocarbon's distant migration. The sole model of sand-fault-sand in Qianguan-tun determines the single of oil-bearing series and reservoir types as well as the character of hydrocarbon's short migration.

Key words: southern Huimin depression; migration pathways; composite models; hydrocarbon forming process

1 地质概况

惠民凹陷南部地区位于济阳拗陷西南部,属于惠民凹陷的次级构造单元,北部通过营子街-玉皇庙南断层与临南洼陷相隔,东南部由齐广断层与鲁

西隆起相接,该区被夏口断层分为夏口断裂带和南部斜坡带,夏口断裂带主要包括双丰、江家店、瓦屋 3 个鼻状构造,南部斜坡带分为西南钱官屯地区和东北窄陡曲堤地垒(图 1)。

由于经历多期构造运动的改造,研究区形成多

收稿日期:2011-08-18

基金项目:国家自然科学基金项目(40772081);山东省自然科学基金项目(Y2008E16);国家科技重大专项课题(2008ZX05001);中国石油大学(华东)自主创新科研计划项目(10CX04002A)

作者简介:李继岩(1987-),男(汉族),甘肃白银人,博士研究生,主要从事储层评价及油气成藏研究。

期断层体系、多个区域不整合及多套不同相带砂体叠置,构成了油气运、聚、散的立体网状通道。目前剖面上主要在沙三段、沙四段发现了油气藏或油气显示,平面上在临近油源的双丰、江家店、瓦屋鼻状构造上具有油气聚集,远离油源的曲堤地垒和钱官屯地区也发现了油气聚集和丰富的油气显示,而其本身不具备生油能力,油气主要来自北部的临南洼陷,距离油源远,该区的油气运移必须依靠连通砂体、不整合和断层等运移通道组成的空间输导体系进行联合输导。因此,在惠民凹陷南部地区开展运移通道组合关系及成藏作用研究具有极其重要的意义。

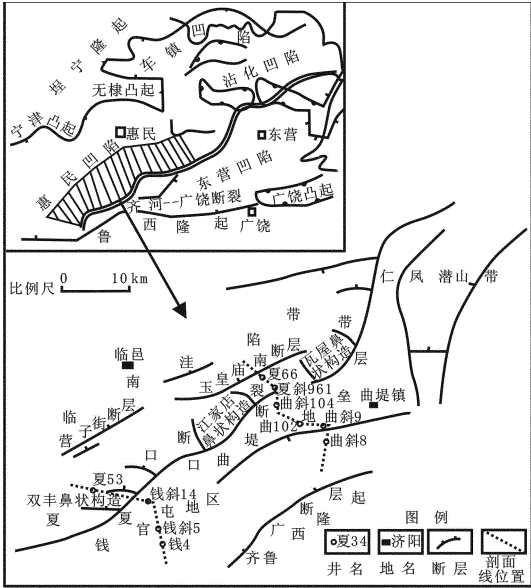


图 1 惠民凹陷南部地区位置图

Fig.1 Location of the southern region of Huimin depression

2 油气运移通道特征

惠民凹陷南部地区油气运移通道主要包括连通砂体、不整合和断层 3 种类型,以连通砂体、断层为主,连通砂体主要在临近洼陷带的夏口断裂带侧向输导油气,断层在整个研究区对油气进行垂向和侧向输导,不整合仅在曲堤地垒高部位侧向输导,并形成与之相关的油气藏。

2.1 连通砂体

惠民凹陷南部地区南侧紧邻鲁西隆起,物源充沛。砂体从古近纪到新近纪各地层都有分布,其中以沙三段砂体最为发育,局部地区沙四段砂体发育较好。平面上,砂体分布范围广泛,连片叠置,连通性好,以沙三下亚段为例,从鲁西隆起向夏口断裂带,以冲积扇、扇三角洲平原、扇三角洲前缘沉积砂体为主,厚度大,基本都大于 20 m(图 2),砂体孔渗

性总体较好^[1],平均孔隙度为 10% ~ 18%,平均渗透率为 $(4.5 \sim 13.8) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 1)。因此,沙三段地层较高的孔隙度与渗透率为临南洼陷带生成的油气向夏口断裂带及南斜坡运移与聚集提供了良好的微观渗流条件。

表 1 惠民凹陷南部地区部分井孔隙度与渗透率平均值

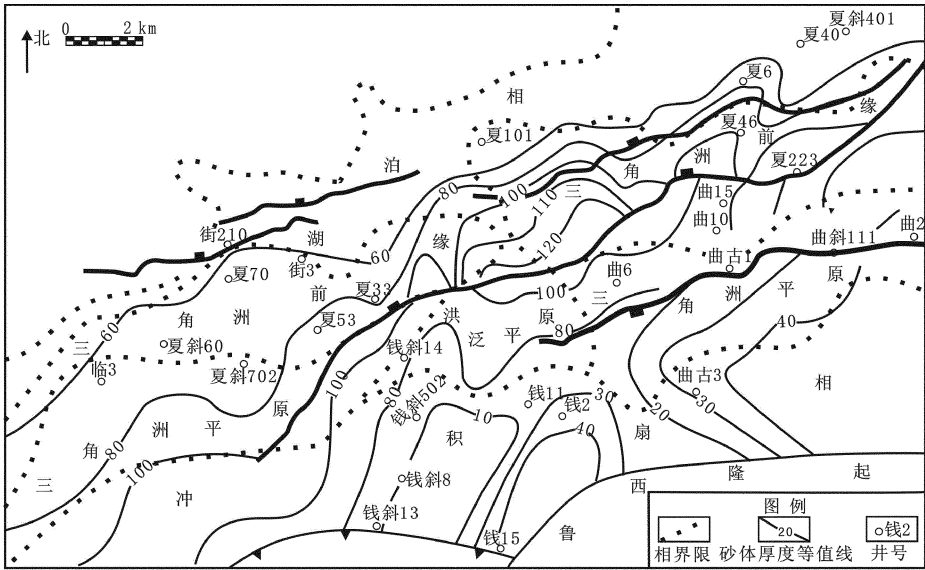
Table 1 Average value of porosity and permeability of major wells in the southern region of Huimin depression

井名	孔隙度 $\varphi/\%$	渗透率 $k/10^{-3} \mu\text{m}^2$
夏 53	18.0	4.5
夏 943	16.0	8.6
夏 942	16.1	7.5
夏 491	15.8	10.7
夏 510	17.2	11.2
夏斜 98	19.8	13.8
夏 66	12.5	12.1
夏 223	14.8	8.5
曲 10	10.8	6.7
曲 104	11.5	5.9
钱 4	11.6	4.1
钱斜 14	13.4	6.4

2.2 断 层

惠民凹陷南部地区处于鲁西南断层体系,区内断层极其发育,以正断层为主,主要油源断层为夏口、玉皇庙南、营子街断层。其余大都为以上 3 条断层活动过程中局部应力调整而形成的、包括与主断层及局部构造伴生的小断层^[2],发育近 100 条,走向近东西向。

研究区断层开始形成于沙四段沉积时期,主要活动时期为沙三段、东营组、明化镇组沉积期,具有活动强度大、持续时间长的特点。3 条主要油源断层具有不同的活动时期,与研究区内油气生成运移、聚集具有良好的匹配关系(图 3)。夏口断层是研究区内最主要的油源断层^[3],控制夏口断裂带和南斜坡油气运聚^[4]。明化镇组沉积时期为研究区主要生排烃期^[5],夏口断层不同区段活动强度具有差异性,东、西段活动强度小(表 2),从而临南洼陷带中生成的油气运移至仁凤潜山带和钱官屯地区的数量较少,造成该区油气比较贫乏;中段活动强度大,油气大规模通过该段向西运移至曲堤地区。明化镇组沉积后期至今,夏口断层活动逐渐减弱,断层封闭性呈现沿走向变化的趋势,封闭区段的下降盘形成临南等油田,油气通过开启段继续向南斜坡运移。而营子街、玉皇庙南断层在明化镇时期基本停止活动,断层垂向和侧向封闭性均较好,可形成与其相关的断块和构造-岩性油气藏,少数层位开启,可构成油气运移的通道。



3 油气运移通道组合类型

油气运移是很复杂的地质过程,很少沿着某单一的运移通道发生运移,实际上是依靠连通砂体、不整合、断层组合而成的输导体系,发生级次性运移^[7-11]。油气输导体系是指连接源岩与圈闭的运移通道所组成的输导网络^[12]。烃源岩生成的油气只有经过有效的输导体系才能进入圈闭,形成油气藏^[13]。因此,输导体系是源与藏之间的“桥梁与纽带”,是油气藏形成和分布的关键控制因素,是不同类型运移通道的组合。采用地球化学手段,选用C₂₉甾烷w(S)/w(S+R)、w(Ts)/w(Ts+Tm)、地层水矿化度3个参数表征油气运移方向,建立“源”与“藏”之间的运移通道组合类型。通过选取一条从临南洼陷带到曲堤地区的运移剖面,即夏66—夏斜961—一曲斜104—一曲102—一曲斜9—一曲斜8井的剖面(图5),研究3个地化参数的变化规律。由于研究区原油主要来自沙三段烃源岩,根据油气差异聚集原理,油藏内的原油成熟度最高的部位应是离烃源岩最近处,随着油气运移距离的增大,原油成熟度变低^[14],

研究区C₂₉甾烷w(S)/w(S+R)从夏66井(0.645)—一曲102井(0.631)—一曲斜9井(0.595)—一曲斜8(0.497),具有自大向小的变化特征,指示了油气运移方向;化学结构上Tm的热稳定性没有Ts大,在热演化过程中Tm的转化比Ts快,使w(Ts)/w(Ts+Tm)值一般随演化程度加深而增大^[14],研究区w(Ts)/w(Ts+Tm)从夏66井(0.503)—一曲102井(0.451)—一曲斜9井(0.422)—一曲斜8(0.413),指示油气沿着运移方向,成熟度逐渐变低;地层水矿化度从夏66井(81.31g/L)—夏斜961井(68.25g/L)—一曲斜104井(25.56g/L)—一曲102井(15.55g/L)—一曲斜9井(8.56g/L)—一曲斜8(7.55g/L)具有自大变小的规律。以上地化参数的变化规律表明,研究区油气自临南洼陷生成后经夏口断裂带向曲堤及钱官屯地区大规模运移。根据研究区构造、沉积、运移通道特征以及运移路径,建立运移通道的组合类型,通过分析认为研究区发育砂体-断层-砂体型、砂体-断层-不整合型、砂体-不整合型3种运移通道组合类型(图6)。

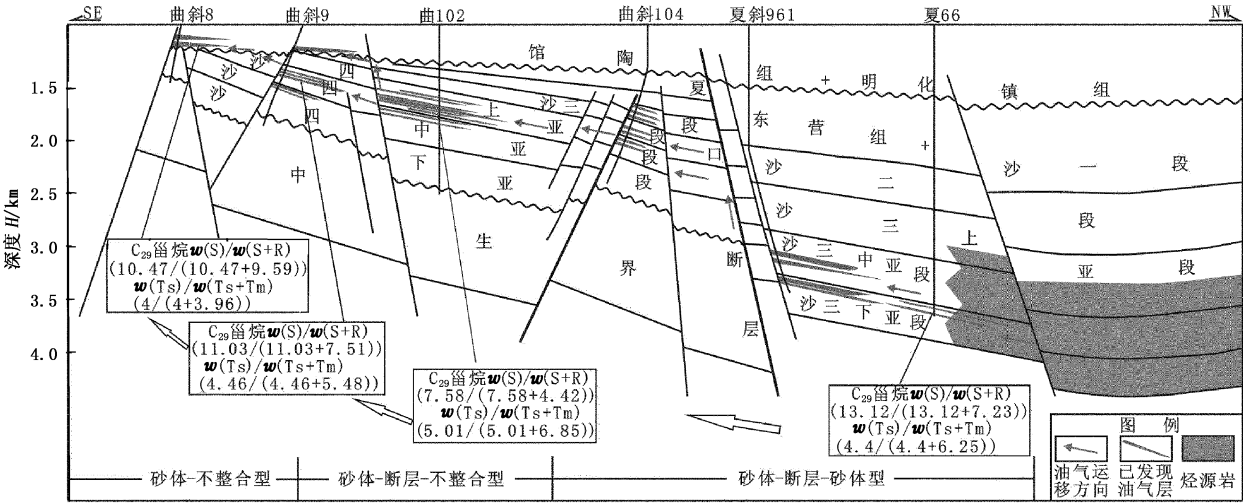


图5 油气运移路径及运移通道组合类型实例

Fig.5 Oil-gas transportation pathways and Combination types instance of transportation channels

组合类型	砂体-断层-砂体	砂体-断层-不整合	砂体-不整合
示意图			
分布地区	夏口断裂带 钱官屯地区	曲堤地垒	曲堤地垒 高部位

图6 运移通道组合类型示意图

Fig.6 Composition tapes of transportation pathways

3.1 砂体-断层-砂体组合类型

砂体-断层-砂体组合类型是油气在地质空间中既可进行侧向运移又可进行垂向运移(即以连通砂体进行侧向运移,以断层进行垂向运移)的立体

网络通道。它是盆地或凹陷生成与排出的油气向两侧古隆起、斜坡或深部油气向浅部构造之上各种类型圈闭(背斜、断块、断层遮挡、地层超覆、岩性和断层-岩性等圈闭)运移的通道。这种组合类型在深部砂体需要聚集足够的油气,达到一定的油气二次运移条件,在断层开启时油气垂向向浅部运移^[14]。在断层闭合时,其通道作用消失,只能起到封闭作用,此时会在深部砂体聚集运移。

惠民凹陷南部地区主要的油源断层(夏口断层)孔店期已存在,错断了多套地层,而这些地层所

表现的断距各不相同,上部地层断距小,下部断距大。断层上、下两盘的沉积厚度一般差异较大,上盘的沉积厚度大,下盘的沉积厚度小,并逐渐向东南方向尖灭,夏口断层具有长期继承性发育的特征^[15],沙三段沉积期,断层下降盘附近发育大套的三角洲前缘相(双丰、江家店、瓦屋三角洲前缘相),远端洼陷中心发育大套的湖泊相,三角洲前缘相能形成质地较纯的砂质集中带,在大断层下降盘附近,砂体根部与大断层接触,砂体前缘伸向洼陷中心湖泊相的烃源岩,与其呈“指状”大面积接触,满足砂体-断层-砂体的“传送站”油气输导模式基本条件。临南洼陷中沙三段烃源岩排出的烃在夏口断层活动时向浅部或南斜坡运移,当后期断层活动减弱,封闭性增强时,油气在断层下盘砂体中聚集,形成构造及岩性油气藏,如夏66和夏斜961井(图5)。

3.2 砂体-断层-不整合组合类型

这种运移通道组合形式是油气在地层空间中进行更复杂的立体运移(以连通砂体、不整合面或两者组合进行侧向运移,以断层进行垂向运移)的空间立体输导网络,通常是油气自生油凹陷部位向古隆起顶部以及上部斜坡各种圈闭运移的主要通道,这种组合类型主要是在断层活动期,断层输导连通了上下砂体和不整合面,构成了立体的运移网络(图6)。

这种组合类型是惠民凹陷南部地区油气的主要运移方式。在惠民凹陷南部曲堤地垒上,临南洼陷中生成的油气首先通过砂体和断层运移至不整合面附近,最后再沿不整合面斜侧向运移,大部分油气在不整合上方,遇到断层封堵形成断层-不整合油气藏。例如曲斜9井位于曲堤地垒的高部位(图5),来自临南洼陷带的油气通过断层-砂体-断层组合输导,到达曲堤高地垒附近,油气又通过砂体-断层进行垂向和侧向运移至不整合附近,再沿着不整合之上的岩石发生侧向运移,遇到断层的侧向封堵形成断层-不整合油气藏。

3.3 砂体-不整合组合类型

这种运移通道组合类型是不整合上下或者一侧良好的渗透层和输导层可作为油气的运移通道,连通砂体和不整合面上部的底砾岩相接触连通,构成了连通砂体与不整合组合类型。

在惠民凹陷南部曲堤地垒的高部位,断层基本不发育,临南洼陷中生成的油气通过砂体-断层-砂体、砂体-断层-不整合运移至该构造部位时,油气通过不整合之下的砂体向不整合面运移,最后沿着不整合面之上孔渗性较好的砾岩或砂岩进行侧向运移,遇到合适的圈闭聚集形成断层-不整合油气藏或不整合油气

藏。例如曲斜8井位于曲堤地垒的高部位(图5),油气沿着不整合之下的砂体运移至不整合面,继续侧向运移,遇到封堵性断层形成油气藏。

4 油气运移通道组合类型的成藏作用

4.1 控制油气藏空间分布规律及类型

对于箕状断陷湖盆,输导体系对称分布规律决定了油气藏类型及空间分布的环带状特点,而凹陷的构造、沉积特征决定了其输导体系呈对称状,并由此形成对称的油气藏环带。研究区油气从临南洼陷带向南斜坡运移,不同的运移通道组合类型决定了油气分布空间和油气藏类型。沿着油气运移方向^[3],其一油气从临南生油洼陷到曲堤地区,由砂体-断层-砂体型、砂体-断层-不整合型、砂体-不整合型3种运移通道组合类型组成,曲堤地区断层自沙三段沉积时期持续活动^[15-16],使得油气垂向运移距离长,不整合上下的砂砾岩等可为油气横向长距离运移提供通道,从而决定了曲堤地区油气具有“多层系分布、油气藏类型多样”的特征(图5);其二油气自临南生油洼陷到钱官屯地区,主要发育单一的砂体-断层-不整合型运移通道,且钱官屯地区断层断距小,活动强度弱^[15-16],油气不能大规模的垂向运移,决定了钱官屯地区油气“单层系分布、油气藏类型单一”的特点(图7)。

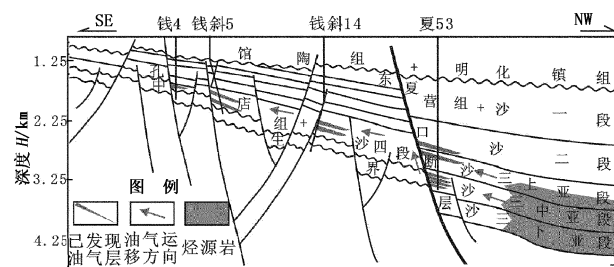


图7 惠民凹陷南部钱官屯地区油气分布特征

Fig. 7 Distributed style of oil-gas in the southern slope of Huimin depression

4.2 控制油气运移模式

研究区的油气运移模式无法通过单一运移通道类型建立,只有通过不同运移通道的组合才能建立合理的不同构造带油气运移模式,即运移通道组合类型控制油气运移模式。运移通道组合类型决定油气运移方式,砂体-断层-砂体型组合决定油气呈反“Z”字型运移,砂体-断层-不整合型及砂体-不整合型组合决定油气呈阶梯状运移。因此,研究区主要发育两种油气运移模式,即夏口断裂带和钱官屯地区的反“Z”字型运移模式、曲堤地区的阶梯状运移模式。

4.3 控制油气运移距离

断层、砂体、不整合都可作为油气运移的通道,

断层可起垂向和侧向运移作用,砂体、不整合主要起侧向运移作用,其中不整合是油气长距离运移的主要通道,因此不同的运移通道组合类型决定了油气运移距离。惠民凹陷仅曲堤地区不整合对油气侧向运移起到输导作用,造成惠民凹陷南部斜坡带油气运移距离具有很大的差异性。以惠民凹陷南部地区生烃中心为油气运移的起点,各油藏的构造高点处为油气运移的终点,可以测得惠民凹陷南斜坡地区油气自烃源岩运移至圈闭聚集运移的距离(表3)。曲堤地区油气是3种运移通道组合类型联合输导,钱官屯地区油气运移通道组合类型单一,因此曲堤油田的最远运移距离比钱官屯油田的远。

表3 惠民凹陷南斜坡地区油气运聚的距离

Table 3 Distance and rate of oil and gas migration-acumulation in the southern slope of Huimin depression

生烃洼陷	最早排烃期	油藏名称	最早运移期	油气运移距离 L/km
临南洼陷	东营期 (32.8 Ma)	曲堤油田	东营末期(24.6 Ma)	19.2
		钱官屯油田	东营末期(24.6 Ma)	14.4

5 结 论

(1)惠民凹陷南部地区主要发育砂体、断层、不整合3种类型的运移通道,其中以砂体、断层为主,不整合仅在曲堤地垒高部位起作用。

(2)惠民凹陷南部地区运移通道主要有砂体-断层-砂体、砂体-断层-不整合、砂体-不整合3种组合类型,其中砂体-断层-砂体型主要发育在夏口断裂带和钱官屯地区,砂体-断层-不整合型主要发育在曲堤地垒,砂体-不整合型仅发育在曲堤地垒高部位。

(3)不同运移通道的组合类型决定曲堤地区油气具有“多层系分布、油气藏类型多样”的特征,单一的砂体-断层-砂体组合类型决定钱官屯油气具有“单层系分布、油气藏类型单一”的特点。

(4)运移通道组合类型决定油气运移方式,研究区主要发育夏口断裂带、钱官屯地区的反“Z”字型和曲堤地区的阶梯状两种油气运移模式。

(5)多种类型运移通道组合决定油气运移距离,曲堤地区油气是3种运移通道组合类型联合输导,钱官屯地区油气运移通道组合类型单一,因此曲堤油田的最远运移距离比钱官屯油田的大。

参考文献:

[1] 张莉,钟大康,朱筱敏,等. 惠民凹陷古近系碎屑岩储集体成因类型及特征分析[J]. 西南石油大学学报:自

然科学版,2005,20(3):19-23.
ZHANG Li, ZHONG Da-kang, ZHU Xiao-min, et al. Sedimentary types and physical properties of the petroclastic rock reservoir of the Paleogene in Huimin sag[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science Technology Edition), 2005, 20(3):19-23.
[2] 韩天佑,漆家福,林会喜. 惠民凹陷西南缓坡带新生代构造演化与油气运移特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3):245-248.
HAN Tian-you, QI Jia-fu, LIN Hui-xi. Study of cenozoic tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in south-west gentle slope belt in Huimin sag[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2003, 24(3):245-248.
[3] 高先志,杜玉民,张宝收. 夏口断层封闭性及对油气运移的控制作用模式[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3):76-78.
GAO Xian-zhi, DU Yu-min, ZHANG Bao-shou. The sealing of Xiakou fault and its model of controlling on the petroleum accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3):76-78.
[4] 朱志强,高先志,曾溅辉. 惠民凹陷西南缓坡带断层的封闭性[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2009, 33(4):1-5.
ZHU Zhi-qiang, GAO Xian-zhi, ZENG Jian-hui. Fault sealing of south-west gentle slope belt in Huimin depression[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2009, 33(4):1-5.
[5] 刘超英,闫相宾,徐旭辉,等. 应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡油气充注史[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4):507-510.
LIU Chao-ying, YAN Xiang-bin, XU Xu-hui, et al. Application of fluid inclusion to the study of hydrocarbon charge history of the south slope in the Huimin Sag[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2008, 29(4):507-510.
[6] 陈涛,蒋有录,宋国奇,等. 济阳坳陷不整合结构地质特征及油气运移条件[J]. 石油学报, 2008, 29(4):499-503.
CHEN Tao, JIANG You-lu, SONG Guo-qi, et al. Geological features and hydrocarbon reservoir of unconformity structures in Jiyang depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4):499-503.
[7] 赵忠新,王华,郭齐军,等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6):527-533.
ZHAO Zhong-xin, WANG Hua, GUO Qi-jun, et al. Types of passage system and analysis of evolution of its capabilities in temporal and spatial range[J]. Petroleum Geology

- and Experiment, 2002, 24(6):527-533.
- [8] 张卫海,查明,曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2):118-121.
ZHANG Wei-hai, ZHA Ming, QU Jiang-xiu. The type and configuration of petroleum transportation system[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(2):118-121.
- [9] 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 Zhao-lu, WANG Hua, YANG Hong. Study on passage system of petroliferous basin[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2000, 21(2):133-135.
- [10] GALEAZZI J S. Structural and stratigraphic evolution of the western Malvinas Basin, Argentina [J]. AAPG Bull, 1998, 82(4):596-636.
- [11] 赵勇生,刘克奇. 塔里木盆地塔中地区油气运移输导体系研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2007, 31(4):8-13.
ZHAO Yong-sheng, LIU Ke-qi. Petroleum migration pathway system of Tazhong area in Tarim Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007, 31(4):8-13.
- [12] 付广,薛永超,付晓飞,等. 油气输导系统及其对运移的控制[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(1):24-26.
- FU Guang, XUE Yong-chao, FU Xiao-fei, et al. On Oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(1):24-26.
- [13] MAGOON L B, DOW W G. The petroleum system from source to trap[J]. AAPG, 1991, 75(3):627.
- [14] 查明,吴孔友,曲江秀,等. 断陷盆地油气输导体系与运移作用[M]. 东营:中国石油大学出版社, 2009:160-190.
- [15] 赵密福,刘泽容,信荃麟,等. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6):9-11.
ZHAO Mi-fu, LIU Ze-rong, XIN Quan-lin, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6):9-11.
- [16] 刘建国,刘延峰,黎有炎,等. 惠民凹陷西部断层活动性研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(4):195-201.
LIU Jian-guo, LIU Yan-feng, LI You-yan, et al. Research on fault activity in the west of Huimin depression [J]. Journal of Petroleum and Natural Gas, 2009, 31(4):195-201.

(编辑 徐会永)

下 期 要 目

- 李春山,等 利用元素录井资料的随钻岩性判别方法
- 陈安清,等 鄂尔多斯盆地北部晚古生代沉积充填特征及油气意义
- 张继标,等 基于蚂蚁算法的三维断裂系统自动解释技术
- 张 森,等 东营凹陷深层沙四段孢粉相特征及其生烃潜力
- 邢恩袁,等 塔里木盆地库车坳陷依南 2 致密砂岩气藏的形成机制
- 魏建新,等 岩块超声横波速度测试方法
- 刘 展,等 双重约束下的重磁性三维反演
- 沈金松,等 海洋电磁勘探中空气波相互作用机制和水深影响分析
- 郭天魁,等 疏松砂岩地层压裂充填防砂支撑剂粒径优选
- 姜汉桥,等 渤海油田早期聚合物驱动态规律及见效时间判断方法
- 刁斌斌,等 双水平井导向钻井磁测距计算方法
- 郝明强,等 压敏性特低渗透油藏压裂水平井产能研究
- 倪红坚,等 自吸环空流体式自激振荡脉冲射流性能分析与优化
- 吕宇玲,等 海洋油气开采系统中强烈段塞流的压力波动特性
- 王 辉,等 基于同位网格的一种定压边界处理方法
- 颜庆智,等 东营粉喷桩复合地基应力比试验
- 刘欣梅,等 纳米 TiO₂ 的合成与光催化性能
- 耿春香,等 一种新型铁氮光催化剂的制备和筛选
- 张云波,等 响应曲面法优化混合菌 KW8-2 修复石油污染土壤
- 赵声萍,等 Fe(OH)₃ 引发含硫油品储罐自燃的动力学机制
- 魏宝君,等 模拟过套管电阻率测井响应的递推矩阵方法
- 王明吉,等 声学测温技术中声波飞渡时间测量方法