

文章编号: 1009-3850(2011)04-0046-05

黄骅拗陷南区扭动构造特征及其与油气聚集的关系

渠芳¹, 连承波¹, 陈清华², 渠冬芳³

(1. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500; 2. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 3. 中国石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 昌平 102249)

摘要: 在研究黄骅拗陷断裂系统的基础上, 通过力学分析认为黄骅拗陷在第三系盖层中极难出现明确的走滑断裂, 但形成大量斜向滑动断层, 具有典型的扭动构造特点。扭动构造包括直扭型和旋扭型两种, 其中沧东断裂、徐西断裂、南皮北-盐山隐伏断裂以及皂坡-故县隐伏断裂带所围限的区域以发育直扭型构造样式为主, 组成“λ”字形、雁列式及“S”形断裂构造样式等。在豫冀鲁巨型帚状构造体系和边界大断裂共同作用下, 以南皮洼陷为漩涡中心, 形成帚状旋扭构造样式。这一旋扭构造样式在南皮北-盐山隐伏断裂带南部的乌马营地区表现最为明显, 其次为沧东断裂下降盘的舍女寺地区, 平面上呈向南西方向收敛、向北东方向撒开, 在沙二段、沙三段地层最为明显。张扭性断裂系统对油气聚集的重要控制作用主要表现为圈闭和断裂构造带形成、油气垂向运移通道作用以及控油性差异等3个方面。

关键词: 黄骅拗陷南区; 斜向滑动断层; 扭动构造; 直扭构造; 旋扭构造

中图分类号: TE122.1⁺²

文献标识码: A

黄骅拗陷断裂构造极为发育, 据统计, 其第三系盖层中各级次、各类别的断裂达8100多条。关于这些断裂的性质目前仍有较多分歧。有些学者将北西向调节断层(带)归入伸展断裂系统^[1, 2], 而另一些学者则将其归入走滑断裂系统^[3, 4], 认为横向变换带为具有走向滑移成分的横向剪切断层。事实上, 从黄骅拗陷南区第三系盖层中断裂的分布情况来看, 确实呈现出典型的扭动构造特点。因此, 本文主要从力学分析的角度, 探讨扭动构造形成的力学机制及其展布特点, 为认识扭动构造对圈闭形成及油气运聚的控制作用提供依据。

1 扭动构造产生的背景

黄骅拗陷南区位于河北省沧州境内, 是渤海湾

盆地第三纪断陷区之一。根据现今地质构造特点可分为12个次级构造单元——两个凸起: 孔店凸起、徐黑凸起; 5个凹陷: 沧东凹陷、南皮凹陷、常庄凹陷、吴桥凹陷和盐山凹陷; 3个鼻状构造带: 沧州市鼻状构造带、盐山鼻状构造带、东光鼻状构造带; 两个断裂构造带: 小集-段六拨断裂构造带和乌马营断裂构造带。这些凹陷和凸起近雁列状展布(图1)。从断裂方向来看, 黄骅拗陷新生代断裂主要由北东-北北东向断裂和北西-近东西向断裂两组断裂系统交叉组合而成。平面上呈现出东西分带、南北分块特征。其中, 孔店构造带是南区主要的复式油气聚集带。含油层系纵贯古生界、中生界及第三系, 其中古近系是最主要的油气聚集层位。

航磁资料、钻井资料及深部构造研究表明, 黄

收稿日期: 2010-11-05; 改回日期: 2010-11-29

作者简介: 渠芳(1981-), 女, 博士, 主要从事石油地质及构造地质学研究。E-mail: 376871312@qq.com

资助项目: 四川省应用基础研究项目(2009JY0418)、四川省教育厅青年基金项目(09ZB098)和西南石油大学校级科技基金(2010XJZ138)联合资助

黄骅拗陷第三纪裂陷发育在鲁西、太行山及燕山三大结晶基底的交接部位,呈“T”字形展布的结晶基底缝合线基本限定了黄骅拗陷盖层构造演化^[1 3 5 6]。

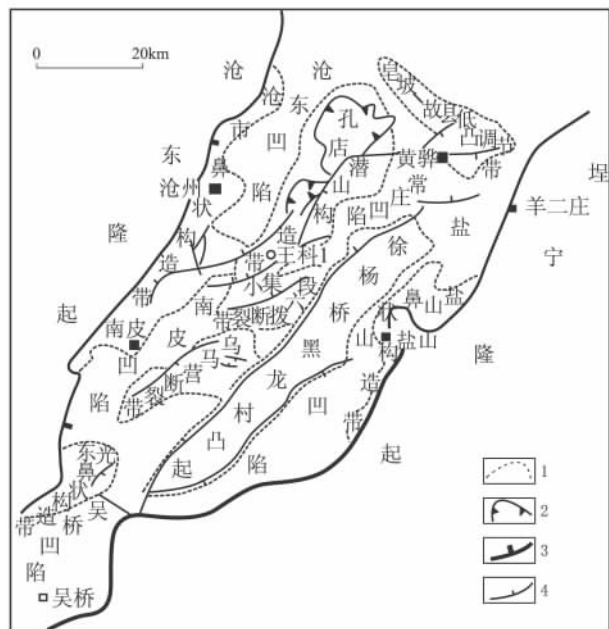


图1 黄骅拗陷南区构造单元划分

1. 构造分区线; 2. 沙河街组剥蚀线; 3. 边界一级断层; 4. 拗陷内主断层

Fig. 1 Tectonic division of southern Huanghua depression

1 = tectonic boundary; 2 = erosional surface of the Shahejie Formation; 3 = 1st-order boundary fault; 4 = major fault

笔者曾对黄骅拗陷的断裂系统做过相关研究^[7],认为从力学角度分析,黄骅拗陷的总应力场主要由拉张应力、重力引起的地静应力和扭动应力三大应力组成。其中地静应力处于主导地位,拉张应力次之,扭动应力较微弱,因而极难出现中间应力轴直立的状态,也就极难在第三系盖层中出现明确的走滑断裂。中生代和新生代时期,边界断裂及深部隐伏大型断裂带活动剧烈且以拉张走滑作用为主,引起盆地基底的“块体转动”,形成一系列扭动构造^[7 8]。

黄骅拗陷北部的燕山区、西部的太行区、东南部的鲁西区的交接的部位发育研究区最大的一条深部隐伏断裂带,亦称陆核分界断裂。该深部隐伏断裂带位于黄骅拗陷范围内,其中一部分穿过南区沧东、南皮凹陷(图2)。由于该隐伏断裂带在新生代具右旋走滑作用,因此黄骅拗陷第三系盖层中常见的雁列状断裂组合其实应为斜向滑动断裂,为深部隐伏走滑断裂带在盖层中的透入式走滑作用所致。例如,沿歧口海岸线北北东向分布的断裂构造

带就是拗陷内深部断裂右旋走滑作用控制的一个最大的斜向滑动断裂。其虽然并非是在区域性扭动应力场作用下形成的走滑断裂,但仍具有较为明显的斜向滑动分量,从而在平面及剖面上具有典型的扭动构造特征。这些扭动构造的产生与盆地基底承受的前期压扭和后期张扭构造应力有关,同时也伴随着盆地的裂陷作用,因而与油气的形成、运移和聚集有着密切的关系。

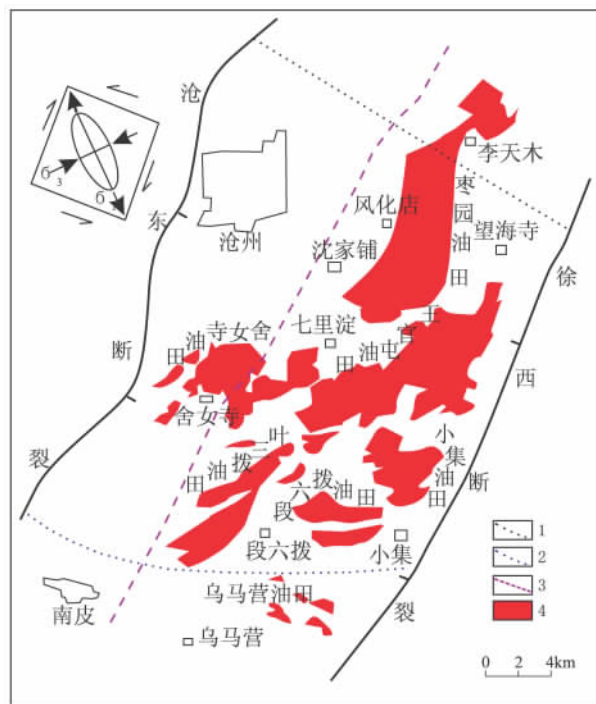


图2 黄骅拗陷南区新生界油气分布与隐伏断裂带

1. 皂坡-故县隐伏断裂带; 2. 南皮北-盐山隐伏断裂带; 3. 陆核分界断裂; 4. 新生界油气分布

Fig. 2 Distribution of the Cenozoic hydrocarbons and concealed faults in southern Huanghua depression

1 = Zaopo-Guxian concealed fault; 2 = Nanpibei-Yanshan concealed fault; 3 = boundary fault of the continental nuclei; 4 = distribution of the Cenozoic hydrocarbons

2 扭动构造的主要类型及特征

2.1 直扭型构造样式

第三纪以来,黄骅拗陷的构造应力场在整体上呈拉张状态,但自始新世-渐新世-中新世,构造应力场呈现NW向-NNW向-近SN向的顺时针旋转特征(图3)^[9 10]。古近纪时期,黄骅拗陷南区特别是孔店构造带的东西边界分别为走向北东的徐西断裂、沧东断裂所围限,南北则分别为走向北西的南皮北-盐山隐伏断裂以及皂坡-故县隐伏断裂带所围限。

因此,南北向的调节低凸起和东西向的边界大断裂联合组成了近似于平行四边形的几何边界条件(图2)。NNW向的区域主应力作用在东西两个断裂上,进一步分解成垂直断层走向的正压应力和平行于断层走向的剪应力分量,从而使局部应力场从始新世的拉张作用转变为渐新世的拉张伴右旋走滑。在拗陷内部,两组应力合成为北北西向的张应力和北东东向的压应力,前者作用的结果导致在南区内部形成一系列走向北东-北东东向的张性断裂,由于右旋剪切作用,这些断裂基本上与其伴生的次级断裂或后生断裂组成“λ”字形、雁列式及“S”形断裂构造样式。整体上来看,黄骅拗陷古近纪由走向北东的孔西断裂带、孔东断裂带、南大港潜山断裂构造带、小集-段六拨断裂构造带等与其西侧走向北北东的沧东断裂带及东侧的徐西断裂组成“λ”字形断裂构造样式(图4)。形成的北东东向或近东西向张性正断层为直扭“λ”字形构造中的张性结构面,它们与边界扭动断层相交的锐角指示扭动断层本盘的扭动方向。“λ”字形构造样式的出现表明扭应力在黄骅拗陷新生代构造运动中起到了一定的作用。

合特点减弱,向下至孔店组则因为此时期主干断裂走滑分量不明显,以北西-南东向拉张为主,故明显的帚状断裂组合还尚未发育。

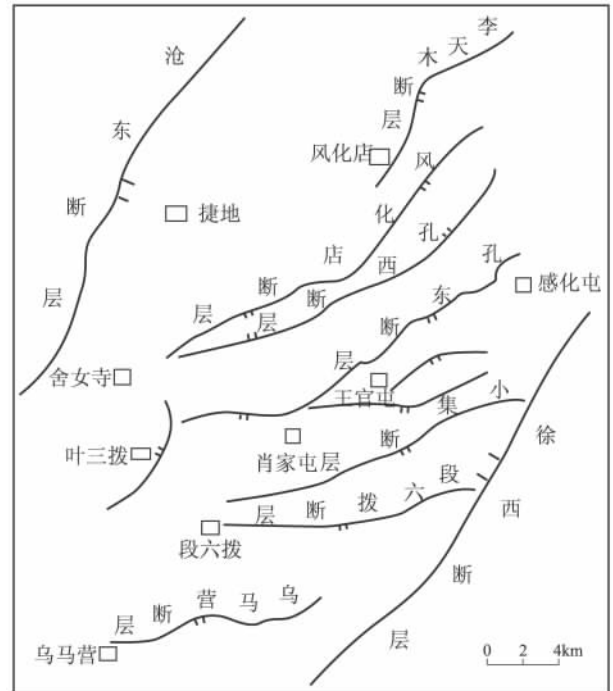


图4 黄骅拗陷“λ”字形断裂格局简图

Fig. 4 λ-type fault patterns in southern Huanghua depression

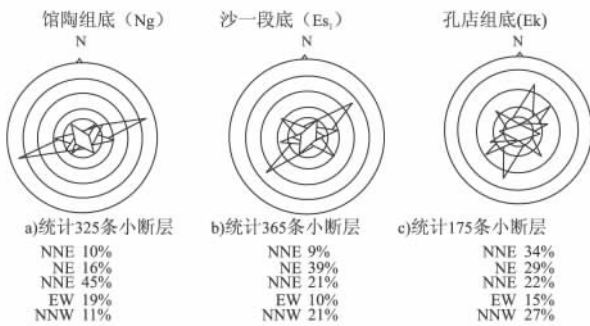


图3 黄骅拗陷古近纪一新近纪不同时期断裂方向玫瑰图 (据马寅生等, 2002)

Fig. 3 Roses showing the fault trends in southern Huanghua depression during the Palaeogene to the Neogene (after Ma Yinsheng et al., 2002)

2.2 旋扭构造样式

旋扭动力构造理论是李四光等中国地学工作者长期以来不断追求实践、潜心研究总结的成果^[11],而帚状构造是旋扭构造体系最常见的一种构造类型。以黄骅拗陷南区为例,这一旋扭构造样式在南皮北-盐山隐伏断裂带南部的乌马营地区表现最为明显,其次为沧东断裂下降盘的舍女寺地区。这种平面上呈向南西方向收敛、北东方向撒开的帚状断裂组合在沙二、三段地层最为明显,向上至沙一段则由于断裂活动性的明显减小而使其帚状组

黄骅拗陷在古近纪沿基底断裂拉张翘倾的过程中,由于整个华北地区夹持于喜马拉雅与环太平洋构造域之间,处于右旋走滑-拉张应力场,使得黄骅拗陷边界大断裂也具有一定的右旋走滑分量。同时,由于受豫冀鲁巨型帚状构造体系的影响^[12],以南皮洼陷为漩涡中心,形成帚状扭动构造样式(图5)。鉴于相同方向的区域应力场遇到不同的边界条件,局部应力状态就会发生改变,从而形成不同的构造形迹^[13],自乌马营帚状断裂带向北进入由沧东断裂、徐西断裂、南皮北-盐山及皂坡-故县调节低凸起围限的区域,帚状扭动构造样式特点逐渐减弱直至消失,小集-段六拨断裂系呈现较弱的帚状构造特征,而孔东断裂系则主要表现为“S”状及“λ”字形扭动特点(图5)。

3 扭动构造与油气聚集的关系

黄骅拗陷第三系盖层中形成的张扭性构造是新生界特别是第三系的油气富集区带。研究表明:张扭性断裂系统对油气聚集的控制作用主要表现为圈闭和断裂构造带形成、油气垂向运移通道作用以及控油性差异等3个方面。

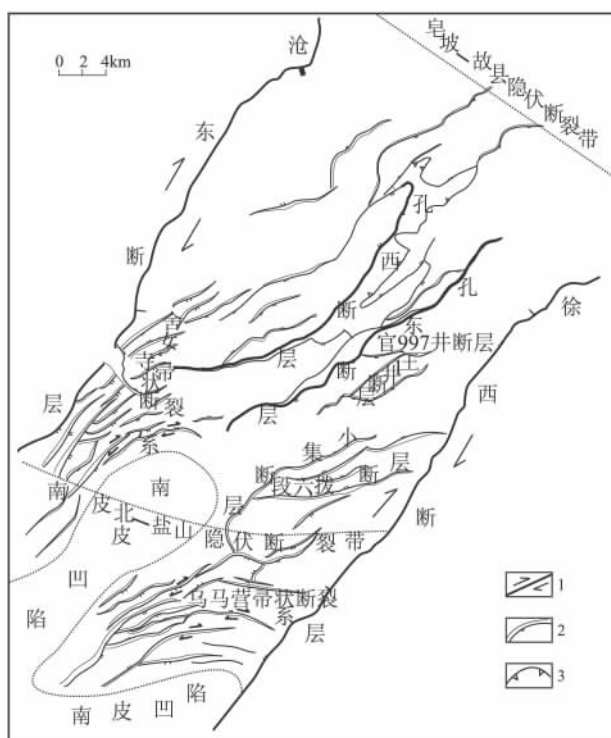


图5 黄骅拗陷南区沙二、三段断裂平面分布及帚状旋扭构造发育

1. 边界断裂及走滑方向; 2. 盆内断裂; 3. 沙二、三段剥蚀线

Fig. 5 Planar distribution of the faults and brush rotation-torsion structures in the 2nd and 3rd members of the Shahejie Formation in southern Huanghua depression

1 = boundary fault and its strike-slip direction; 2 = intrabasin fault; 3 = erosional surface in the 2nd and 3rd members of the Shahejie Formation

(1) 扭动构造控制了圈闭和断裂构造带的形成

与扭动构造有关的圈闭构造样式主要有4种,即断鼻与断背斜、掀斜断块、逆牵引背斜和地垒。断鼻、断块和断背斜是黄骅拗陷张扭性断裂系统内的主要圈闭型式。其中,断鼻大部分为反向正断层切割的屋脊式断鼻,少量为顺向正断层切割的断鼻;断块包括单断层断块(地层上倾方向被一条弯曲的正断层切割封闭,大部分为反向正断层切割而形成的屋脊式断块圈闭,少量为顺向正断层切割而形成的断块圈闭)和多断层断块(地层上倾方向被多条弯曲的正断层切割封闭而形成的构造圈闭)。这些圈闭构造受主要断层控制,并与主要断层形成多个断裂构造带。黄骅拗陷南区第三系张扭性断裂系统内主要包括孔西、孔东、小集-段六拨、舍女寺、乌马营等5个断裂系统,它们为油气在张扭性断裂系内的聚集提供了有利场所。

(2) 张扭性断裂系统控制了油气的垂向运移

黄骅拗陷南区张扭性断裂系统是油气垂向运移的重要通道。黄骅拗陷南区钻探情况证实,黄骅南区以孔二段为主力烃源层,主要分布于以始新世为主要发育期的沧东-南皮凹陷。烃源层平均厚度400余米,有效生油面积为1065 km²,是南区的主要烃源层系。南区第三系主要的含油层系包括沙一段、沙三段、孔一段、孔二段等。其中尤以位于烃源层之上的孔一上亚段油气聚集量最为丰富。因此,无论是孔二段自生自储式油藏,还是孔一段及沙河街组下生上储式油藏,都离不开断裂对其垂向及侧向的运输作用。断裂的“地震泵”作用对油气运移和聚集有至关重要的影响^[14-17],大型油源断层对油气聚集有极其重要的作用。在断裂强烈活动期会产生强烈的“泵吸”作用,油气运移时将首先聚集于易形成“地震泵”源的地方,而后孔二段油气在断层中作快速的幕式运移。而断裂在盖层中形成的扭动构造特征无疑会容易形成构造应力集中,因此容易形成“地震泵”源,对于油气垂向运移的控制作用非常明显。

(3) 张扭性断裂系统内各断裂构造带控制了油气分布

在黄骅拗陷南区发现的5个断裂构造带中,已探明含油面积197.2 km²,探明石油地质储量3.76 × 10⁸ t,显示了断裂构造带良好的含油气性。另外,由于黄骅拗陷南区沧东、南皮凹陷孔二段主力烃源岩生成的油气自凹陷向凸起运移,因此插入生油凹陷的主干油源断裂附近的圈闭含油气性最好。

4 结论

(1) 黄骅拗陷第三系盖层中极难出现明确的走滑断裂。在深部隐伏走滑断裂带新生代右旋走滑的透入式影响下,第三系盖层中出现大量斜向滑动断层,从而具备扭动构造特征。

(2) 扭动构造包括直扭型和旋扭型两种,其中沧东断裂、徐西断裂、南皮北-盐山隐伏断裂以及皂坡-故县隐伏断裂带所围限的区域以发育直扭型构造样式为主,组成“λ”字形、雁列式及“S”形断裂构造样式等。

(3) 由于黄骅拗陷深部隐伏走滑带具有右旋走滑特点,使得黄骅拗陷边界大断裂也具有一定的右旋走滑分量,形成帚状扭动构造样式。这一旋扭构造样式在南皮北-盐山隐伏断裂带南部的乌马营地区表现最为明显,其次为沧东断裂下降盘的舍女寺

地区。这种平面上呈向南西方向收敛、向北东方向撒开的帚状断裂组合在沙二、三段地层最为明显。

(4) 张扭性断裂系统对油气聚集的控制作用主要表现为圈闭和断裂构造带形成、油气垂向运移通道作用以及控油性差异等 3 个方面。断裂在盖层中形成的扭动构造特征容易形成构造应力集中,因此容易形成“地震泵”源,对于油气垂向运移的控制作用非常明显。

参考文献:

- [1] 大港油田科技丛书编委会. 第三系石油地质基础 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [2] 陈发景, 汪新文, 陈昭年, 等. 伸展断陷盆地分析 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [3] 王战, 孟庆仁, 谢建民, 等. 黄骅坳陷地区地质构造演化与油气分布 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 于志海, 杨池银. 黄骅坳陷天然气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [5] 邓荣敬, 徐备, 杨桦, 等. 黄骅坳陷北塘凹陷古近系烃源岩特征与演化 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 35-38.
- [6] 马全华. 黄骅坳陷王官屯油田官 63 断块油气成藏控制因素研究 [D]. 西北大学, 2000.
- [7] 渠芳, 陈清华, 连承波, 等. 黄骅坳陷新生代断裂构造系统研究 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(5): 7-10.
- [8] 于志海, 杨池银. 黄骅坳陷天然气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [9] 马寅生, 曾庆利, 张兴. 黄骅坳陷新生代构造应力场演化的光弹模拟与石油地质条件分析 [J]. 地质力学学报, 2002, 8(3): 219-228.
- [10] 张兴, 马寅生. 黄骅坳陷构造应力场演化光弹模拟实验 [J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(1): 21-24.
- [11] 李东旭. 旋扭构造动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [12] 李红南, 刘伟, 蔡传强, 等. 豫冀鲁不同级序旋扭构造体系和油气富集规律 [J]. 地质力学学报, 2009, 15(4): 385-392.
- [13] 栗维民, 张考文, 任红. 三塘湖盆地构造应力场特征 [J]. 吐哈油气, 2004, 9(1): 5-9.
- [14] 渠芳, 陈清华, 连承波, 等. 黄骅坳陷南区油气分布规律及其成藏机制 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 294-300.
- [15] 于翠玲, 曾溅辉. 断层幕式活动期和间歇期流体运移与油气成藏特征 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 129-133.
- [16] 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移 [J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 77-85.
- [17] 阎福礼, 贾东, 卢华复, 等. 东营凹陷油气运移的地震泵作用 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 295-298.

Torsion structures and their bearings on the hydrocarbon accumulation in southern Huanghua depression, Hebei

QU Fang¹, LIAN Cheng-bo¹, CHEN Qing-hua², QU Dong-fang³

- (1. School of Resources and Environments, Southwest University of Petroleum, Chengdu 610500, Sichuan, China;
2. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China;
3. School of Resources and Information, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Abundant oblique slip faults characteristic of the torsion structures occur in the Tertiary cap rocks of the Huanghua depression. The torsion structures in the depression comprise two types: translational structures and rotation-torsion structures. The former appear in the areas bounded by the Cangdong fault, Xuxi fault, Nanpibei-Yanshan concealed fault and Zaopo-Guxian concealed fault, and display the structural patterns of the λ -type, echelon and “S” shapes. The latter appear dominantly in the Wumaying region in the southern part of the Nanpibei-Yanshan concealed faults, and secondly in the Shenusi region on the downthrown side of the Cangdong fault. The tenso-shear fault systems may exercise an important control on the formation of traps and faulted zones, vertical migration of hydrocarbons, and different controls on hydrocarbon accumulation.

Key words: southern Huanghua depression; oblique slip fault; torsion structure; translational structure; rotation-torsion structure