

苏北盆地金湖凹陷内压扭性构造的地震反射

杜惠平^{1,2)} 宋国良²⁾ 谭胜章²⁾

1) 南京大学地质科学系, 江苏南京 210093;

2) 中国石化集团华东石油局第六物探大队, 江苏南京 210007

摘要 在郯庐断裂从左旋到右旋的演化过程中,下扬子地区苏北盆地中各凹陷基本上都形成了弧形或雁行式排列的压扭性构造带,这些压扭构造带是苏北盆地各凹陷中构造圈闭和油气最发育的部位,目前基本上都形成了油气田。通过多年的地震勘探工作的研究成果表明金湖凹陷中具有典型的压扭性构造。以三维地震资料解释为基础分析了金湖凹陷压扭性构造的展布特征,并揭示其与油气发育和圈闭的关系,确定圈闭发育区。

关键词 下扬子地区;苏北盆地;金湖凹陷;压扭性构造;油气前景

中图分类号: P315.8; P552

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)05-571-06

Compresso-shear Structures in the Jinhu Sag, Subei Basin: Evidence from 3D Seismic Reflection Profiles

DU Huiping^{1,2)} SONG Guoliang²⁾ TAN Shengzhang²⁾

1) Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093;

2) No. 6 Geophysical Prospecting Team, Huadong Petroleum Bureau, SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 210007

Abstract During the transition of the Tan-Lu fault from sinistral to right-lateral strike-slipping, echelon or arc compresso-shear structural belts were generally developed in some sags of the Subei basin in the lower Yangtze region. These structural belts resulting from compresso-shearing are the most developed area of structural traps and also the field of petroleum accumulation. Seismic exploration in recent years has revealed that typical compresso-shear structures exist in Jinhu sag. In this paper, the distribution characteristics and petroleum prospects of compresso-shear structures in Jinhu sag are interpreted and analyzed according to 3-D seismic reflection data, the relationship between the trap and the development of petroleum is discussed, and the development area of trap is delineated.

Key words Lower Yangtze; Subei basin; Jinhu sag; compresso-shear structure; petroleum prospects

苏北中、新生代盆地位于下扬子地区,属苏北—南黄海盆地西部的陆上部分,西部边缘为郯庐断裂,是中国东部重要的油气勘探后备基地,具有重要的战略意义。自北向南以中部建湖隆起为界,划分为南部的东台拗陷和北部的盐阜拗陷(图1)。其中金湖拗陷位于东台拗陷西部,面积约5000 km²,其构造圈闭类型主要是小断块,并具典型的张扭性特点。金湖拗陷的油气勘探始于20世纪60年代,1975年发现刘庄油气田后,在一系列含油构造上发现了包

括阜二段、阜一段、阜三段和戴南组等在内的多套含油层系。金湖拗陷前期的勘探主要针对阜宁组,故阜宁组的勘探程度已很高。通过分析研究苏北盆地各构造带的压扭性特征并揭示其与油气发育和圈闭的关系,确定圈闭发育区,对深化金湖拗陷的油气开发具有重要意义。

高精度三维地震资料有助于查明金湖拗陷的构造样式,为正确评价金湖拗陷内压扭性构造的展布特征及确定找油方向奠定基础。

收稿日期:2007-12-14;改回日期:2008-02-13。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:杜惠平,男,1964年生,高级工程师,主要从事石油地震勘探的野外采集和资料解释;通讯地址:210009,江苏省南京市马台街141号;电话:025-83640818;E-mail: dhp_lw@126.com。

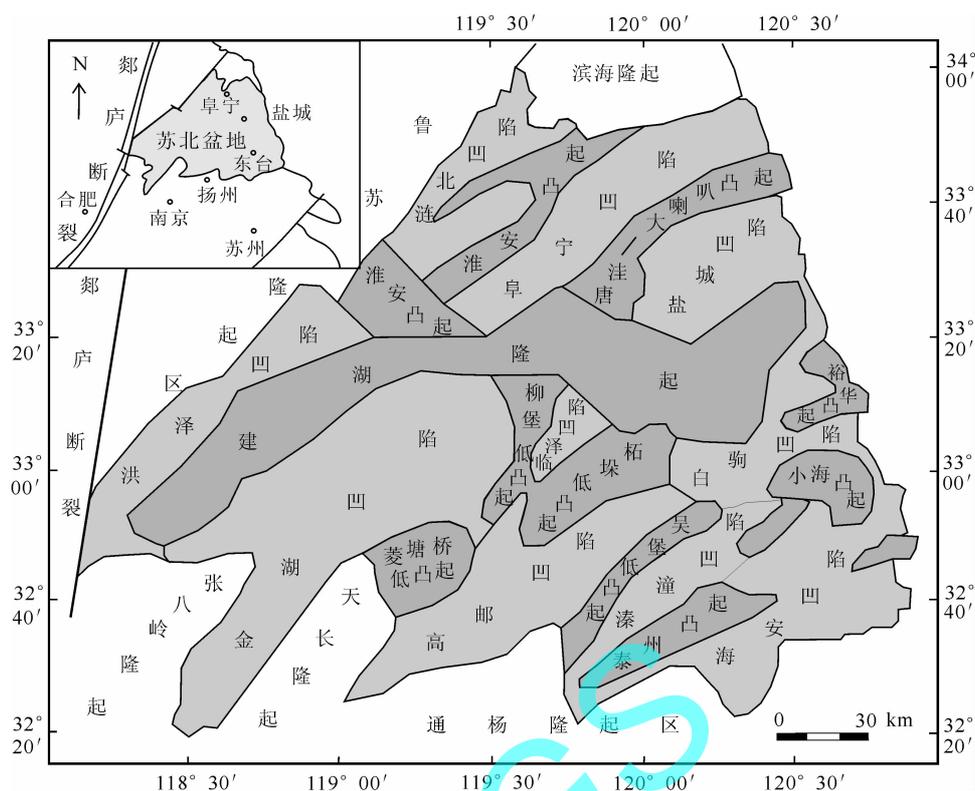


图1 苏北盆地构造区划图

Fig. 1 Sketch map showing structural division of the Subei Basin

1 地质背景

金湖凹陷西临郟庐大断裂,北接建湖隆起,由ES往WN向主要由3个次级凹陷组成,边界分别是杨村断裂、石港断裂和刘庄断裂(图1)。郟庐大断裂在先期左旋到后期右旋的演化过程中,造成区内断裂与块体(低凸起或深凹陷带)作相反的运动,在局部产生压扭应力场,从而在凹陷中自WS往NE向形成由NW向至NNE向逐步过渡的压扭性构造带。这些压扭性构造带经不同时期的叠置和复合,最终形成了金湖凹陷呈扇形展布的压扭性构造带(朱夏,1979;朱光等,2002;宋传中等,2003;施炜等,2003)。

苏北盆地发育上白垩统泰州组二段(K_{21}^2)、古新统阜宁组二段(E_1^2)、四段(E_1^4)区域性烃源岩,及泰州组一段(K_{21}^1)、阜宁组一段(E_1^1)、三段(E_1^3)、始新统戴南组(E_d)、三垛组(E_{2s})以湖相三角洲、河流相、近岸水下扇等砂岩为主体的储集层,构成的5套储盖组合都已经发现油气藏(邱旭明,2004;周荔青等,2004)。目前发现的油气藏以金湖凹陷、高邮凹陷油气最为富集,主要为构造圈闭油气藏。

苏北盆地在中、新生代经历了盆地形成期(K_{2p} -

表1 苏北盆地主要地震反射层与构造事件对照表
Table 1 Structure events and their seismic reflect layers for the Subei Basin

地 层	底界地震反射层	构造事件	地质时间 /Ma
第四系+上第三系盐城组($Q + N_{1y}$)	T_2^0	三垛事件	38.0~24.6
始新统三垛组(E_{2s})	T_2^3		50.5
始新统戴南组(E_{2d})	T_3^0	吴堡事件	54.9
古新统阜4段—阜2段($E_{1r}^4 - E_{1r}^2$)	T_3^3		
古新统阜1段—泰州组($E_{1r}^1 - K_{21}$)	T_4^0	仪征事件	83.0
上白垩统赤山组—浦口组($K_{2c} - K_{2p}$)			

K_{2c} ,距今83~95 Ma)、断陷期($K_{21}-K_{2s}$,距今23~83 Ma)和坳陷期(N-Q,距今0~23 Ma)(马力等,1990),主要的地层沉积、油气生成、运移聚集和圈闭成藏都发生于伸展断陷期,目前的构造格局也主要反映了伸展断陷期的特点(邱旭明,2004)。

2 金湖凹陷压扭性构造带的特征与平面展布

2.1 金湖凹陷地震剖面特征

表1为苏北上白垩统泰州组至上第三系盐城组之间的地层、地震标准层及构造事件对照(陈安定,2001)。如表所示,在 T_2^0 地震反射层之下出现地层

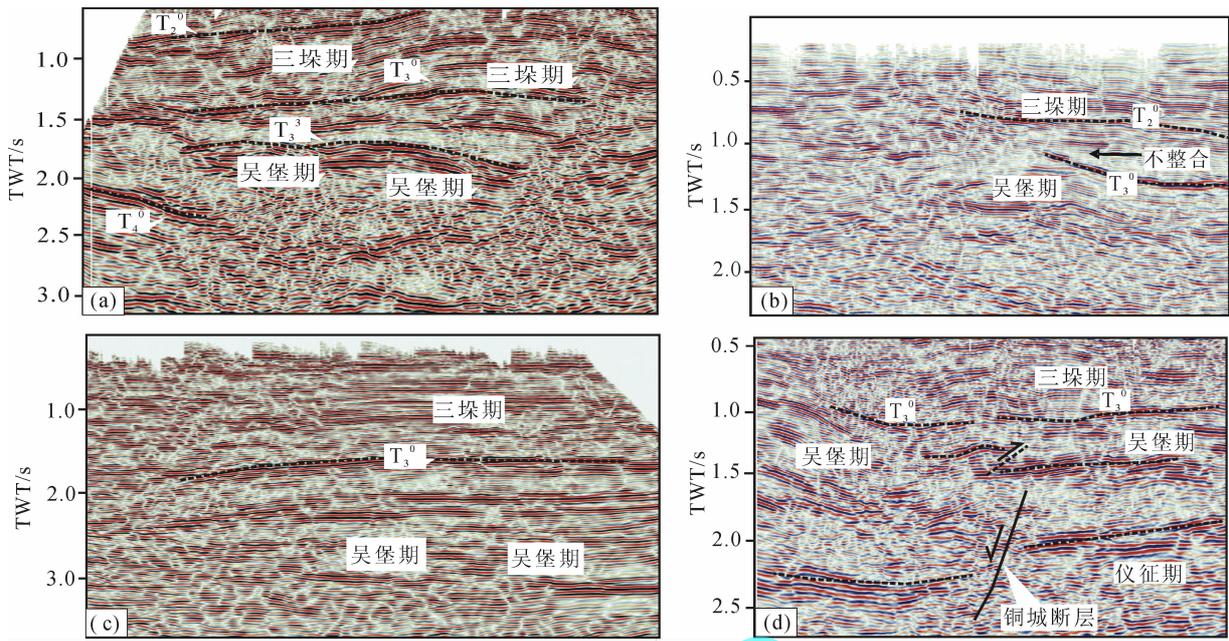


图2 金湖凹陷地震剖面

Fig. 2 Seismic reflection profile of the Jinhu sag

- (a)-金湖凹陷中过高庄背斜高带的地震剖面(图3中的line①, T_3^0 波为吴堡期与三垛期的构造分界面); (b)-近NNW向过金南构造带的地震剖面(图3中的line②, T_3^0 波为吴堡期与三垛期的构造分界面; T_2^0 波为三垛期的构造); (c)-金湖凹陷过下塘—吕家庄构造高带的地震剖面(图3中的line③); (d)-近垂直铜城断层的地震剖面(图3中的line④)
- (a)-Seismic reflection profile crossing the Gaozhuang anticline high in Jinhu sag (line ① in Fig. 3, T_3^0 wave indicates structural interface between Wubao and Sanduo periods); (b)-Nearly NNW-trending seismic reflection profile crossing the Jinnan structure belt (line ② in Fig. 3, T_3^0 wave indicates structural interface between Wubao and Sanduo periods; T_2^0 indicates structure of Sanduo period); (c)-Seismic reflection profile crossing the Biantang-Lijiazhuang structure zone(line ③ in Fig. 3); (d)-Seismic reflection profile nearly perpendicular to Tongcheng fault (line ④in Fig. 3)

顶削和角度不整合应认定为“三垛事件”， T_3^0 之下出现的相同情况为“吴堡事件”。

图2(a)为金湖凹陷过高庄背斜高带的一条近NW向地震剖面。从地震剖面上可清楚地看出吴堡期和三垛期两期构造挤压变形的轨迹。吴堡期构造运动使三垛期 T_3^0 波及以下波组发生构造形变,但幅度不大;三垛期 T_3^0 波及以上波组均发生了强烈的褶皱,甚至造成该区的铜城断层发生逆掩冲断。剖面上清晰可见 T_3^0 波以上波组形变比其以下波组强烈,这说明三垛期应是该区挤压作用较强的时期。

图2(b)为近NNW向过金南构造带的地震剖面。剖面显示出 T_3^0 波与下伏波组存在明显的角度关系,体现出吴堡期运动压扭作用对构造的影响, T_2^0 波为三垛运动构造面,与下伏地层呈角度不整合,从剖面上看,这期运动所形成的构造叠置在吴堡运动面之上,受断层走滑和压扭作用的影响,构造高点也随之发生位移,在金南地区形成不同构造序次的压扭构造带。

图2(c)为一条过下塘—吕家庄构造高带近NNE向的地震剖面,位于石港断裂与杨村断裂之间。吴堡运动期,这两条断裂之间的相互作用形成了下塘、吕家庄等一系列压扭构造。从地震剖面上可见 T_3^0 波以上地层的超覆现象比较清晰, T_3^0 波以下波组的形变幅度明显大于其上的波组,说明构造变形主要是因为挤压构造力的影响,挤压构造力的变化引起复杂的构造变形,而吴堡期的构造变形强度大于三垛期变形强度。

图2(d)为一条近垂直铜城断层的地震剖面。从该剖面能很清晰地看出该断层“下正上逆”的特征。从剖面解释中发现,该断层是一条早期(仪征期,对应泰州组沉积时期)的正断层,断距较大,是控制龙岗次凹的主控断裂。吴堡运动期,下降盘由西南向东北逆冲,使下部断距缩小,而在上部则呈现逆断层,成为本区不多见的“下正上逆”的断裂,其向上一般不延伸到 T_3^0 波,这说明在吴堡运动期间该断裂受压扭作用发生反转。而在该断层断距大

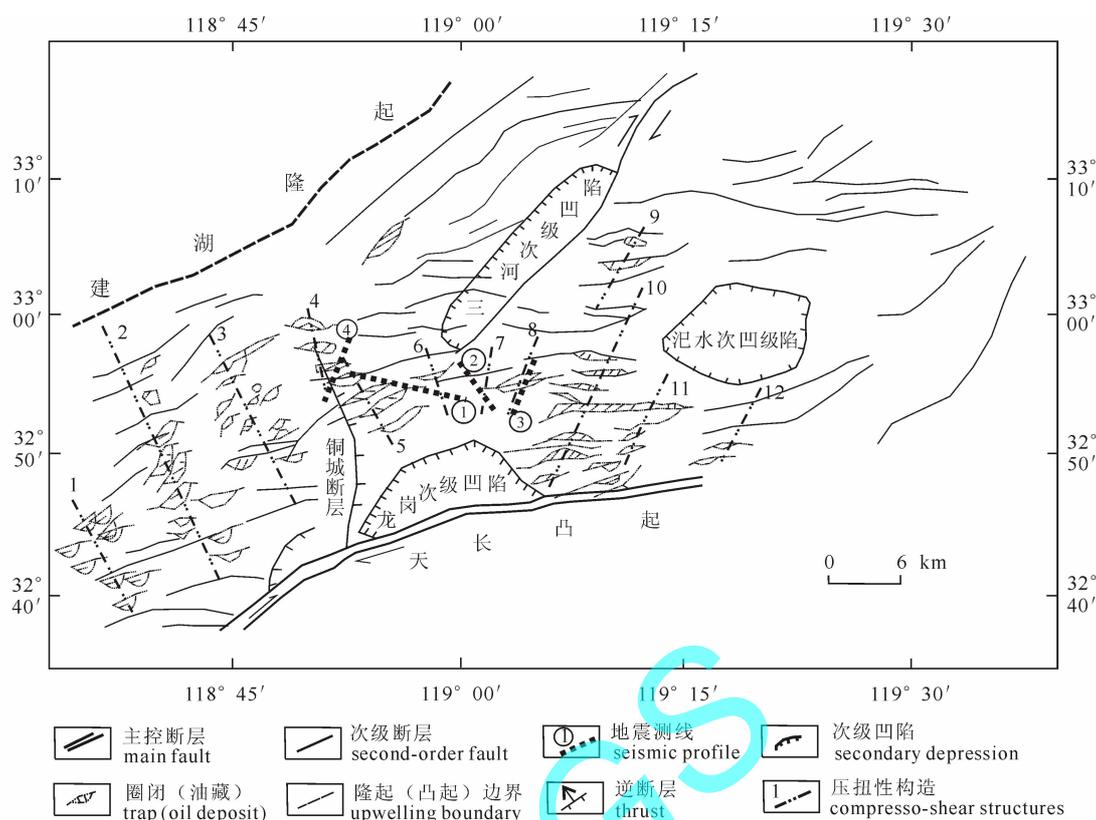


图3 金湖凹陷压扭构造带平面展布图(据邱旭明, 2002 修改)

Fig. 3 Distribution of compresso-shear structures in the Jinhu sag(modified from Qiu, 2002)

- 1-釜山构造带; 2-王龙庄构造带; 3-安乐—南湖构造带; 4-崔庄—高庄构造带; 5-高集—刘庄构造带; 6-金西构造带;
7-金南构造带; 8-吕家庄构造带; 9-腰滩构造带; 10-唐港构造带; 11-12-卞—闵—杨构造带
1-Fushan structure belt; 2-Wanglongzhuang structure belt; 3-Anle-Nanhu structure belt; 4-Cuizhuang-Gaozhuang structure belt;
5-Gaoji-Liuzhuang structure belt; 6-Jinxi structure belt; 7-Jinnan structure belt; 8-Lüjiazhuang structure belt;
9-Yaotan structure belt; 10-Tanggang structure belt; 11-12-Bian-Mian-Yang structure belt

的地段则出现了以逆断层性质向上延伸至三垛组顶部的现象,说明该断层在三垛期曾再度活跃,由西南向东北方向发生了逆掩,形成本区的多个压扭构造带。

各主要目的层的波组形变轨迹清楚,甚至可以看出不同构造时期的形变序次和强度,但由于所处区域部位的不同,其形变强度又各有不同,总的来说,在凹陷的西南部以三垛期为主,往东北部则逐步过渡到以吴堡期为主。

2.2 金湖凹陷压扭构造带的平面展布

通过收集邻区解释成果,再结合中石化华东石油局金西—金南—金沟—卞塘三维联片和腰滩、唐港的编图成果(邱旭明, 2002),绘制了金湖凹陷的压扭构造带的平面展布图(图3)。自WN往NE大致可分成12个压扭构造带,它们分别为:釜山构造带、王龙庄构造带、安乐—南湖构造带、崔庄—高庄构造带、高集—刘庄构造带、金西构造带、金南构造

带、吕家庄构造带、腰滩构造带、唐港构造带及卞—闵—杨地区3个构造带。这些构造带从WS向NE随着杨村主控断层的走向呈凸弧形变化,向主控断层方向呈收敛趋势,而向外则呈放射状(图3)。

3 金湖凹陷压扭构造带的形成机制探讨

郯庐断裂经历了不同性质构造运动的转换(徐嘉炜等, 1992; Gilder et al., 1999; Ratschbacher et al., 2000),这些复杂的构造运动影响着下扬子地区苏北新生代盆地的形成和演化。盆地从断陷期(E_1 - E_3)到坳陷期(N_1 - Q)共发生了3次大的构造运动(仪征运动、吴堡运动和三垛运动)(杨琦等, 2003)。仪征运动期,因库拉—太平洋板块在晚白垩世时在苏北—南黄海区域的东面与陆缘NE向边缘发生斜向碰撞,使得苏北—南黄海部位的岩石圈块体向北偏东移动,郯庐深大断裂发生左旋走滑(徐学思等,

1984),苏北地区此时也经受了左行压扭应力场的作用而隆升为陆,并发育 NNE 和 NWW 向两组剪断裂(方仲景等,1985),在苏北产生了区域性拉张,岩石圈拆离变薄,地幔上涌,岩石圈伸展剪切而形成了苏北众多的箕状断陷(E_1 - E_3)。进入古近纪,一直到三垛组二段沉积期,盆地再次伸展裂陷,发育了7000余米厚的碎屑岩沉积,其中暗色泥岩厚度占60%,是苏北盆地的主要生油层。此时,盆地发育成两个拗陷。盆地总体呈喇叭状向 NE 撒开,向 SW 向至郯庐断裂收敛(杨占宝,2006)。

金湖断陷则形成了由杨村断裂、石港断裂和刘庄大断裂的3个次级凹陷,即龙岗次级凹陷、三河次级凹陷和刘庄次级凹陷,这些次级凹陷都是东断西超的箕状结构。由于控制这些次级凹陷的边界断层(杨村断层、石港断层和刘庄断层)与断凹间呈反方向的扭动,使得局部产生了 NE-SW 压扭应力场,从而在金湖凹陷形成了一系列的压扭构造带,如:金南—闵桥大型断鼻构造带。喜山期,由于太平洋板块俯冲方向上 NNW 转向 NWW 以及印度板块和亚洲板块的相互作用,使郯庐断裂发生右旋扭动,这个过程从吴堡期一直持续到三垛期以后,而在三垛期达到高峰。金湖凹陷三级控凹断层也随着引力场从左旋至右旋开始由左旋变成右旋,使得断凹间块体也作相反方向的走滑和扭动,这样各块体所产生的压扭应力也逐步由 NW-SE 转成 NE-SW,加上金湖凹陷特定的边界条件,3个次级凹陷和3条边界断层均形成向 NE 敞开而向 WS 收敛的构造格局(图3)。另一方面,压扭应力场的逐步迁移,使层间泥岩塑性流动加快,形成围绕龙岗、汜水和三河次级凹陷带呈弧形展布的压扭构造带。

4 压扭性构造带与油气资源

苏北中、新生代盆地主要的地层沉积、油气生成、运移、聚集和圈闭成藏都形成于盆地断陷期(钱基,2000),下扬子地区金湖凹陷的扭动构造油气配置条件非常好,几乎每个构造带都已实现了油气突破或成为油田,主要生油层系有阜二段和阜四段(周荔青等,2004)。由图3可以看出,多数压扭构造带都环深凹(生油中心)分布,为油气运移主要指向区。在油气运移路径上,只有存在断层、地层弯曲等侧向遮挡条件,才能阻滞油气的运移而形成油气藏,如卞闽杨构造带位于金湖凹陷龙岗、汜水生烃次级凹陷之间,是油气运移的有利指向区,依靠地层的弯曲遮挡而形成油气富集带(侯建国等,2004);环

汉涧和龙岗次级凹陷分布的釜山、王龙庄和安集3个构造带目前已成为安徽油田的主要油田;而环东阳浅凹陷和三河次级凹陷分布的马坝构造带、刘庄构造带、崔庄及腰滩构造带也都突现了油气突破。金南构造带虽在阜宁组的二段、三段实现了油气突破,但由于距龙岗深凹陷较远,其油气丰度和产量均低于上述构造带。而金西工区内的高庄构造带虽与崔庄油田相邻,但由于其形成期较晚(三垛末期),构造的形成期要晚于油气的主运期,因此预测其油气丰度不是太高。另外,位于金南与卞东构造之间的吕家庄构造带,是一个形成于吴堡期,定型于三垛早期的背斜构造带,其东南为龙岗深凹带,它的周边基本上都实现了油气突破(如卞东油田、李庄油田、金南油田等),预测其油气丰度要高于金南构造带,是一个很有远景的构造带(邱旭明,2002)。

总之,金湖凹陷属于典型的扭动断裂带转换部位的构造圈闭油气藏,寻找这一类油气藏的关键是要查明扭动断层的转换部位。金湖凹陷的压扭构造带的平面展布特征为油气勘探奠定了基础。

参考文献

- 陈安定. 2001. 苏北箕状断陷形成的动力学机制[J]. 高校地质学报, 7(4):408~418.
- 方仲景, 丁梦林, 向宏发. 1985. 郯庐断裂带的基本特征[J]. 科学通报, (1):52~55.
- 侯建国, 林成焰, 姚合法, 张小莉. 2004. 断陷盆地成藏动力系统特征与油气分布规律[J]. 中国海上油气, 16(6):363~363.
- 马力, 钱基. 1990. 苏北—南黄海盆地的构造演化[J]. 江苏油气, 1(1):7~25.
- 钱基. 2000. 苏北盆地油气田的形成与分布特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 24(4):21~25.
- 邱旭明. 2002. 扭动作用在苏北盆地构造体系中的表现及其意义[J]. 江汉石油学院学报, 24(2):5~7.
- 邱旭明. 2004. 苏北盆地扭动构造油气藏[J]. 石油勘探与开发, 31(3):26~29.
- 施伟, 张岳桥, 董树文. 2003. 郯庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征[J]. 地球学报, 24(1):11~18.
- 宋传中, 朱光, 刘洋, 牛漫兰, 刘国生. 2003. 郯庐断裂带肥东韧性剪切带的变形规律、同位素年龄及其构造意义[J]. 地质论评, 49(1):10~16.
- 徐嘉炜, 马国锋. 1992. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 38(4):316~324.
- 徐学思, 吕成高. 1984. 江苏省及上海区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 661~664.
- 杨琦, 陈红宇. 2003. 苏北—南黄海盆地构造演化[J]. 石油实验地质, 25(增刊1):563~564.
- 杨占宝. 2006. 郯庐断裂带中生代演化与含油气盆地形成分布综述[J]. 地质力学学报, 12(1):43~48.
- 张渝昌. 1997. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版

社, (10): 358 ~ 372.

周荔青, 刘池洋, 陆黄生, 张淮. 2004. 苏北盆地阜三段油气成藏规律 [J]. 石油实验地质, 26(2): 187 ~ 193.

朱光, 牛漫兰, 刘国生, 王道轩, 宋传中. 2002. 郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件 [J]. 地质学报, 76(3): 325 ~ 334.

朱夏. 1979. 中国东部板块内部盆地形成机制的初步探讨 [J]. 石油实验地质, (1): 1 ~ 9.

References

- CHEN Anding. 2001. Dynamic Mechanism of Formation of Dustpan Subsidence, Northern Jiangsu [J]. Geological Journal of China Universities, 7(4): 408 ~ 418 (in Chinese with English abstract).
- FANG Zhongjing, DING Menglin, XIANG Hongfa. 1986. The Basic Characteristics of Tanlu Fracture [J]. Chinese Science Bulletin, (1): 52 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- HOU Jianguo, Lin Chengyan, Yao Hefa, Zhang Xiaoli. 2004. Dynamic hydrocarbon accumulation systems and hydrocarbon distribution in rifted basin [J]. China Offshore Oil, 16(6): 363 ~ 363 (in Chinese with English abstract).
- GILDER S, LÉLOUP H, COURTILLOT V, CHEN Y, COE R, ZHAO X, XIAO W, HALIM N, COGNÉ J P, ZHU R. 1999. Tectonic Evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) Fault Via Middle Triassic to Early Cenozoic Paleomagnetic Data [J]. J. Geophys. Res., 104: 15365 ~ 15390.
- MA Li, QIAN Ji. 1990. Tectonic Evolution of the North Jiangsu-South Yellow Sea Basin [J]. China Oil-Gas, 1(1): 7 ~ 25 (in Chinese with English abstract).
- QIAN Ji. 2004. Formation and Distribution of Oil-Gas Fields in SuBei Basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 24(4): 21 ~ 25 (in Chinese with English abstract).
- QIU Xuming. 2002. Representation of torsional action in tectonic system of Subei basin and its significance [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 24(2): 5 ~ 7 (in Chinese with English abstract).
- QIU Xuming. 2004. Strike-sliding structure traps in the Subei Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 31(3): 26 ~ 29 (in Chinese with English abstract).
- RATSCHBACHER L, HACKER B R, WEBB L E, CALVERT A, IRELAND, T R, MC-WILLIAMS M O, DONG S, CHATEIGNER D, WENK H R. 2000. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east-central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu Fault [J]. Journal of Geophysical Research, 105: 13303 ~ 13338.
- SHI Wei, ZHANG Yueqiao, DONG Shuwen. 2003. Quaternary activity and segmentation behavior of the middle portion of the Tan-Lu fault zone [J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(1): 11 ~ 18 (in Chinese with English abstract).
- SONG Chuansong, ZHU Guang, LIU Yang, NIU Manlan, LIU Guosheng. 2003. Deformation Features and Isotopic Ages of the Feidong Ductile Shear Belt in the Tan-Lu Fault Zone and Its Tectonic Implications [J]. Geological Review, 49(1): 10 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- XU Jiawei, MA Goufeng. 1992. 10-Year Review of Research on Tanlu Fracture Belt [J]. Geological Review, 38(4): 316 ~ 324 (in Chinese with English abstract).
- XU Xuesi, LU Chenggao. 1984. Regional geology of Shanghai and Jiangsu Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 661 ~ 664 (in Chinese with English abstract).
- YANG Qi, CHEN Hongyu. 2003. Tectonic Evolution of the North Jiangsu-South Yellow Sea Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 25(supp. 1): 563 ~ 564 (in Chinese with English abstract).
- YANG Zhanbao. 2006. Meso-Cenozoic Evolution of the Tanlu Fault and Formation and Distribution of Petroliferous Basins [J]. Journal of Geomechanics, 12(1): 36 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yuchang. 1997. Prototypel Analysis on Chinese Petroliferous Basin [M]. Nanjing University Press, (10): 358 ~ 372 (in Chinese with English abstract).
- ZHOU Liqing, LIU Chiyang, LU Huangsheng, ZHANG Huai. 2004. Pool-Forming Rule of Oil and Gas in the Third Member of the Funing Formation in the North Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 26(2): 187 ~ 193 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Guang, NIU Manlan, LIU Guosheng, WANG Daoxuan, SONG Chuansong. 2002. Structural, Magmatic and Sedimentary Events of the Tan-Lu Fault Belt During its Early Cretaceous Strike-Slip Movement [J]. Acta Geologica Sinica, 76(3): 325 ~ 334 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Xia. 1979. Primary discussion of formative mechanism of inner basin of east plate in China [J]. Petroleum Experimentation Geology, 1: 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract).