

文章编号: 0253-9985(2004)03-0279-05

苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系

刘玉瑞, 刘启东, 杨小兰

(中国石化江苏油田分公司地质科学研究院, 江苏扬州 225009)

摘要: 苏北盆地石港、汴涧、吴堡断层体系, 平面上主干断层具有线性主位移带、马尾状撇裂和雁列入字型构造的组合特征; 剖面上呈现锥形破裂、强制单斜层和破碎主位移带的构造特征; 断旁岩石则可见到扭性、压性破裂面等地质现象。这些特征反映石港、汴涧、吴堡断层体系应属离散型右行走滑断层。经应力分析, 苏北盆地受伸展作用和右行走滑双重营力的地质作用, 而右行扭动是诱导形成走滑断层的主因, 主要受郯庐断裂带活动的控制。正是这些断层体系所具有的离散型右行走滑特征控制了苏北盆地的油气圈闭形成、圈闭的平面分布、以及油气的运聚模式。

关键词: 走滑断层; 离散型; 右旋; 成因机制; 油气聚集; 苏北盆地

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

Relation between features of strike-slip faults and hydrocarbon accumulation in Subei basin

Liu Yurui Liu Qidong Yang Xiaolan

(Geological Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu)

Abstract: The Shigang, Chajian and Wubao fault systems in Subei basin represent, laterally, combined characteristics of a major fault with main linear shift zone, horsetail splays and en echelon lambda-type structures, and, vertically, structural features of cone-like fracture, forced monocline and fractured main shift zone. Shear and compressive fracture planes can be observed in rocks beside the faults. Based on the above characteristics, it is believed that the Shigang, Chajian and Wubao fault systems are of discrete-type right lateral strike-slip faults. Stress analysis indicates that Subei basin has experienced both agents of extension and right lateral strike-slip, while right lateral wrench movement is the main cause of strike-slip faults, which has been controlled by Tanlu fracture zone. It is the features of discrete-type right lateral strike-slip of the Shigang, Chajian and Wubao fault systems that control the formation and distribution of oil and gas traps, as well as the migration and accumulation of oil and gas in Subei basin.

Key words: strike-slip fault; discrete-type; right lateral; genetic mechanism; hydrocarbon accumulation; Subei basin

1 概况

中国东部新生代裂谷盆地以断层极发育为主要构造特征^[1~3]。苏北盆地甚为典型, 不同级别断层有数百条, 它们一般呈上盘下掉的形式, 因而曾被认为都是张性断层。

金湖-高邮凹陷是该盆地两个主要含油凹陷, 区内发育控制盆地边界或次凹的一、二级断层7条, 控制局部构造的次级断层众多(图1)。经对其断层体系再分析, 认为晚白垩世一早第三纪石

港、汴涧和吴堡断层属于离散型右行走滑断层。它们与张性断层是统一应力场系统下不同性质断层体系的具体表现, 其成因受郯庐断裂带活动控制。

2 特征

石港、汴涧和吴堡断层均为基底生长断层, 形成于中生代燕山期或更早, 至晚第三纪活动基本停止, 断层上盘下掉, 两盘落差普遍较大, 形式上呈正断层。分析表明, 它们都具有如下离散型右行走滑断层的基本特征。

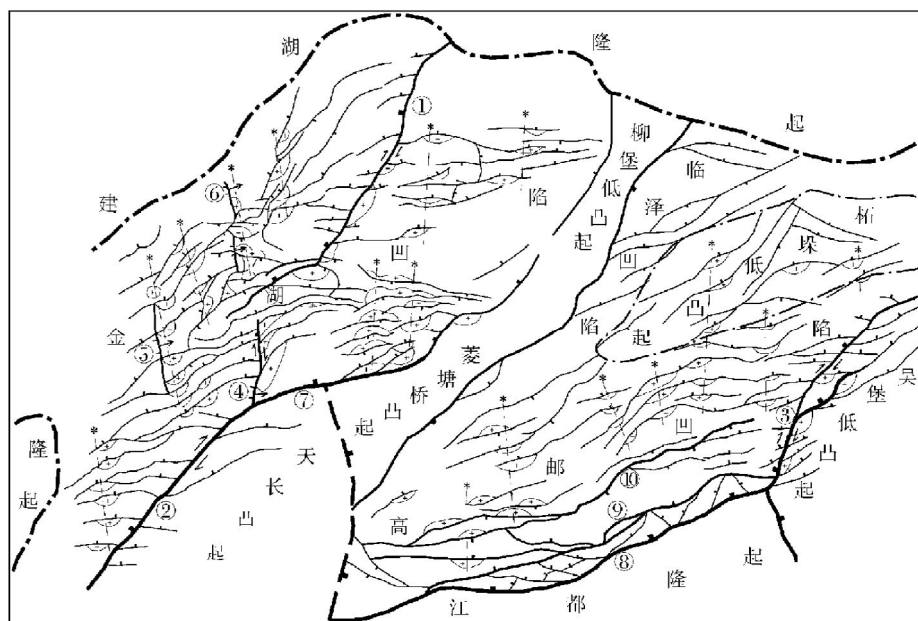


图1 苏北盆地金湖-高邮凹陷断层体系

Fig.1 Sketch map of fault systems in Jinhu-Gaoyou sag in Subei basin

①—石港走滑断层; ②—汴涧走滑断层; ③—吴堡走滑断层; ④—铜城“P”走滑断层; ⑤—泥沛逆断层;
⑥—崔庄逆断层; ⑦—杨村断层; ⑧—真1断层; ⑨—真2断层; ⑩—汉留断层; *—局部构造高带

2.1 平面

扭动断层系平面上有其独特的共生构造组合面貌(图2),即鉴定一条走滑断层最明显标志是雁行拉张构造或挤压构造和一条同期贯穿的主断层相结合^[4]。离散型扭动伴生雁列张性正断层;平行扭动、聚合型扭动主要出现雁列褶皱,可伴生雁列逆断层。

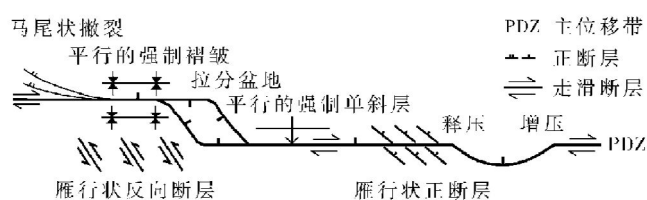
图2 离散型走滑断层共生构造组合平面图^[4]

Fig.2 Plane map showing paragenetic association of discrete-type strike-slip faults

(1) 线性主位移带及马尾状撇裂如图1所示。石港、汴涧和吴堡断层具有①主位移带规模都较大,平面上呈一条舒缓波状的线性延伸,如石港主断层长约45km,吴堡主断层有18km;②主位移带一端分化成马尾状撇裂,并走向衰亡如石港主断层南端见马尾状撇裂,马尾甩向南西,吴堡主断层则在北端形成马尾状撇裂,马尾甩向北东,两者马尾构造发育端相反,甩向相背,反映是右行走滑作用的产物。

(2) 雁列构造。一是主断层伴生一系列羽状正断层,走向近东西,断开层位为下第三系。断面下端 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、上端 $50^{\circ} \sim 55^{\circ}$,属张性断层,构成了扭动构造组合中的雁列构造,如图1所示。尤其主断层上盘的羽状断层断面倾向一致,全部为北倾,其形成是主断层扭动及基底走滑作用的结果。二是主断层侧旁发育一系列低序次正断层,呈近东西走向,相对应的成排局部构造高带轴向则呈近南北向展布,与主位移带构成斜交雁列构造,如石港断层与东侧构造高带、吴堡断层与西侧构造高带。

上述现象与主断层及基底右行走滑运动时,右行力偶分导出的近南北向拉张应力分量和近东西向挤压应力分量所产生的低序次构造轴向一致;同时也与真武、杨村张性断层呈近南北向强烈拉张作用一致。说明区内断层走滑活动与拉张活动处于统一的应力场之中。

(3) 入字型构造。由不同序次的构造成分组合在一起,是鉴定古走滑、判定走滑方式的重要标志。石港、汴涧、吴堡断层与伴生的低序次断层在交汇处组成入字型构造,成组成带有规律排列;主断层结构面与左盘雁列式正断层结构面相交锐角指向北北东,右盘指向南南西,表明主断层为右行走滑。与此间郯庐断裂右行平移活动一致,充分

反映了后者的制约作用。

2.2 剖面

走滑断层是从基底向上、向外扩展穿过沉积盖层的,在横剖面上呈锥形,这种断层组合形态称花状构造。它是走滑断层的另一重要鉴别标志。此外,走滑断层带地层破碎、变形复杂化,同时出现杂乱反射等也是一个判断的依据。

苏北盆地有些主干断层,如真武断层断面呈犁式且平缓,下端倾角小于 35° ,水平拉张量大,断阶发育,断点清晰,属典型的张性断层。石港、汉涧、吴堡断层则不同,具有如下特征。

(1) 锥形破裂面(负花状构造)。主断层面陡,下部以较高角度呈单根插入基底,向上分叉撒开呈锥形破裂面的特征(图3),与走滑断层破裂型式模拟实验结果相似(图4)^[5]。

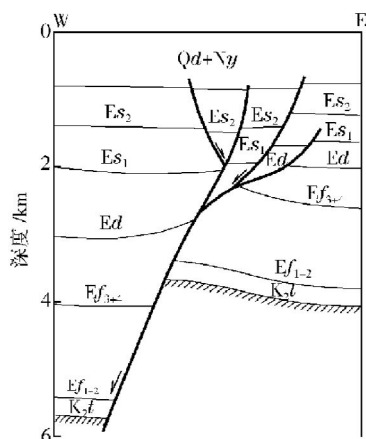


图3 石港断层带锥形破裂构造剖面图

Fig. 3 Cross section showing cone-shaped crush structure near Shigang fault belt

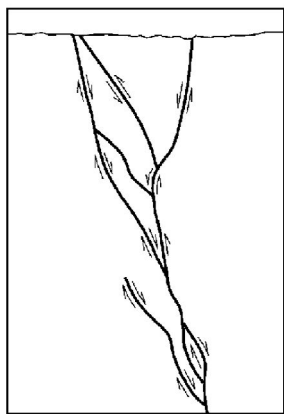


图4 离散型扭动模拟实验剖面图^[5]

Fig. 4 Profile showing simulating experiment of discrete-type wrench movement

(2) 上盘平行的强制单斜层。主断层上盘根部中-深部地层正牵引强烈形变,变形最强部位恰好位于主断层向上撒开转弯处,形成了整体西倾的区域单斜层。其成因模式如图2所示。

(3) 狭窄破碎的主位移带。主位移带既窄又碎,且发育断阶是其另一重要特征。钻井、地震和局部构造形态都反映出这点。这些断层带的破碎程度是苏北盆地一、二级断层中少见的,从而导致了断层带油气勘探的复杂性。

2.3 岩石变形

岩石在受外力作用后,所产生的各种形变或切变是恢复受力性质的直接依据。信荃麟等^[6]曾对压、张、扭性破裂面主要特征作了系统总结,据此对照,石港等断层的扭压性质在岩石变形上有明显反映。如石港Q6井阜宁组岩心发现很多代表扭性、压性破裂面的地质特征,诸如水平擦痕、光亮镜面,次圆状角砾岩发育,压裂、压碎、片理化和糜棱岩化发育,微观构造吕德尔线,及平行裂面的构造透镜体等等;同时,也见到了部分代表拉张性质的结构面特征,多被方解石或石英所充填^[7]。

可见,这三条断层绝不是单纯的张性正断层,而是扭张兼具的离散型走滑断层,走滑扭动的结果必然产生横向拉张和斜交断面的挤压,使断层带更加破碎复杂。

2.4 航磁

高精度航磁 ΔT 异常图,反映石港断层两侧有两对具有相似性质的正异常体呈右行雁列式排列,说明主断层具有右行走滑活动。

3 成因机制

苏北盆地位于郯庐断裂带东侧,为燕山晚期中-古生界基础上发育起来的新生代叠合盆地。区内断层、构造形迹以北东走向为基本格局,张性断层发育。研究认为,无论是正断层,走滑断层或逆断层,其形成、演化与郯庐断裂带的运动密切相关^[8~10]。

(1) 双重营力地质作用是背景。据报道,郯庐断裂带运动具有“三步曲”,即晚侏罗—早白垩世(J_3-K_1)平移为主,表现为左行走滑;晚白垩世—古近纪(K_2-E)伸展为主,表现为右行走滑;新近纪挤压逆冲^[11,12]。可见,晚白垩世—古近纪郯庐断裂带发生伸展作用与右行走滑运动,在此双重

作用下,部分早期形成的大型逆断层发生反转形成正断层,原来的大断层由左行压扭转换为右行张扭,进而发展成为控制盆地边缘和内部凹凸格局的一、二级断层,并控制沉积沉降中心的演化和转移。

(2) 右行扭动力偶是诱因。根据右行力偶扭动共生构造组合模式(图5),郯庐断裂右行走滑,可在苏北盆地不同位置诱导产生一系列不同类型的低序次构造。真武、杨村断层处于发育张性破裂方位,形成正断层,盖层兼具斜滑特点;石港、汉涧、吴堡断层恰处于发育同向剪切位移方向,表现为右行张扭走滑断层,与前者有明显差异;铜城断层处于发育“P”剪切破裂位移方向,故也呈走滑断层性质;而盆地西部5排斜列的盖层褶皱(局部构造高带)走向与泥沛、崔庄逆断层走向一致,并且两排褶皱与逆断层相互伴生,同处于发育局部收缩构造方向。

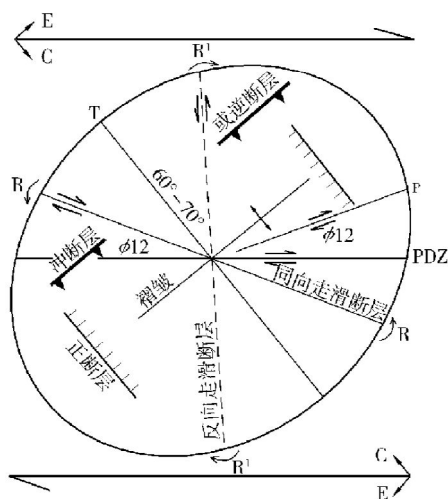


图5 右行力偶造成的扭动构造组合^[5]

Fig. 5 Shear structure association caused by dextral couple

C—扭动导出的挤压矢量;E—扭动导出的伸展矢量

模型实验还表明反向走滑断层数量上虽然可能很多,但相对于同向断层,其位移量和重要性显然处于次要地位^[5];加之郯庐断裂带以伸展运动为主,故苏北盆地北东向张性断层占主导,北西向(反向)构造不发育或呈隐伏状,与理论实验一致。进一步研究表明,中生代郯庐断裂带左行平移活动期,真武、杨村断层为大型逆断层,钻探已证实这点;吴堡断层则为左行压扭断层,反映新生代基底断层为早期断层活化转换形成的,说明郯庐断裂带活动对苏北盆地中、新生代构造都起重要作用。

(3) 理论推导与实践较吻合。①笔者早先根

据上述理论和二维地震构造图,推测铜城断层是“P”剪切走滑断层。后经三维地震重新落实该区带构造和断层,发现铜城断层具有三分性,即南段呈断面东倾的逆断层,中段转为直立断层,北段变为断面西倾的高角度正断层,表现出典型的剪切走滑活动性质。②泥沛、崔庄逆断层是近期三维地震才发现的,解释中应用了本文的上述理论作指导,经实施C17-2井证实逆断层是可靠的。

由此可见,苏北盆地走滑断层、逆断层与正断层是共存的,是统一应力场下的不同产物,其形成演化受郯庐断裂带活动制约和控制。

4 走滑断层与油气聚集

4.1 走滑断层与油气圈闭

扭动构造影响着岩层的变形——圈闭的形成。走滑断层带主断层两侧强烈挤压和横向拉张作用是形成伴生构造的主要动力;同时,也决定了局部构造的样式和展布。

(1) 圈闭展布纵向分段性。主断层向上撒开生长时,在断面转弯处因扭动受阻,使两侧地层受挤增强,上盘形成平行的强制单斜层,下盘在挤压和上抬共同作用下形成平行的强制褶曲和单斜层,构成局部构造的基本框架。两者上翘方都被扭断层封切,横向上又被羽状断层分割,形成了上盘以雁列断块和下盘以断鼻、断块为主的一系列局部构造,是油气运移聚集的有利构造。

(2) 圈闭展布平面分带性。图2所示,主断面走向总体呈线状,局部呈犬牙状或舒缓波状,在弯曲处水平扭动受阻而增压,形成推隆构造,可能成为强制单斜或褶曲的中心高点,如图1中石港断层下盘形成了石庄、桥河口和前锋三个鼻状构造,吴堡断层下盘则形成了宋家垛、陈堡两个鼻状构造。这些鼻状构造都位于主断面走向的外凸部,与此对应,在断面内凹部,释压拉张,形成断块圈闭。

(3) 圈闭组合展布规律。总体上圈闭紧贴主断层呈带状展布,可分为三个带:①上盘发育断块圈闭,或被雁列断层切割的破断鼻圈闭;②下盘发育断鼻、断块圈闭;③夹缝断坡带发育断层岩片圈闭。

离散型扭断层的伴生局部构造以纵、横分布规律性强、类型单调、块体较破碎和前后构造继承性差,与拉张断层的伴生构造有别。毫无疑问,在这些构造圈闭群中,那些由应力集中所形成的主

体构造是最有利的含油气圈闭,是首选钻探的目标,其两翼为扩大战果的有利场所。

4.2 走滑断层与断面封挡

本区构造圈闭都与断层有关,侧向封挡是关系着圈闭落实和钻探成功与否的关键因素。断层类圈闭侧向封挡主要有两种类型:砂泥对接封闭和断面封闭。不同性质断层,封闭机制不同,断面遮挡能力也不同。张性断层面开启性大,较难形成断面封堵,主要靠砂泥对接封闭,如高邮凹陷真武断裂带戴南-三垛组油藏,断面两侧对接的油藏油水系统常常一致。扭动断层断面开度小,挤压剪切作用强烈,易把泥质等细粒物挤入或注入砂岩孔隙中,形成致密岩石,或者易在断面中形成致密的断层泥或断面角砾岩,从而形成断面封闭。油藏解剖反映走滑断层存在断面封闭,如石港断层下盘S147油藏为上翘方被主断层封切的断鼻圈闭,油层段高度72 m,大于对接盘42 m的泥岩段,显然断面封闭起了保存油气的作用。

4.3 走滑断层与油气运聚模式

断层既控制沉积沉降中心的迁移演化和相带展布,又是油气运移的主要通道之一。由此形成了具自身特色的储盖组合与油气圈闭分布规律。断层性质、规模、活动时间和岩石组构不同,其油气通道或遮挡能力有差异;而断层与两侧烃源岩、砂岩配置关系也直接影响油气运聚规律。根据走滑断层地质结构特征,建立不同断层的油气运聚模式。

(1) 石港断层。主断层下盘阜宁组圈闭(下成油组合)以同盘浅凹阜宁组二段油源为主;全断层带戴南组圈闭(上成油组合)以上盘次凹阜宁组四段油源为主。

(2) 吴堡断层。主断层下盘阜宁组、泰州组、赤山组圈闭(下成油组合)以上盘深凹阜宁组二段油源为主,混有阜宁组四段油源;主断层上盘和断坡带戴南组、三垛组圈闭(上成油组合)以上盘深凹阜宁组四段为油源。

(3) 杨村断层:主断层下盘中-古生界潜山圈闭以上盘深凹阜宁组四段油源为主,可能有部分阜宁组二段油源;主断层上盘和断坡带戴南组圈闭以同盘深凹阜宁组四段为油源。

5 应用

根据上述走滑断层与油气聚集规律的新观点,指导苏北盆地油气勘探,取得了一批重要成果。

5.1 例一

石港断层带油气钻探始于1975年,至1993年共钻探井16口,成功率仅18.75%,无上交储量。因对断层复杂性认识不足,勘探“三上三下”停滞不前。针对这一状况,1994年笔者从分析主断层基本特征入手,提出走滑断层新模式,按照新认识重新评价区带、落实构造和描述圈闭,指导生产提交10口预探井,钻探成功7口,探明储量 505×10^4 t,勘探取得重大进展。其中,S4井就是根据断面封堵新认识部署实施并获得成功的。

5.2 例二

过去把吴堡断层简单地当作张性的,故将主断层按两条处理,从而未能理清主、次断层及与局部构造的相互关系和纵横展布特征。近期,高邮项目组地质、物探人员紧密结合,借鉴走滑断层体系的新观点,发现吴堡断层主干部分呈一条大断层,在北端先分裂成两条较大断层,再逐步分化为多条更小的断层,成为马尾撇裂;局部构造组合具有走滑断层的三分带规律。据此选择有利于发育局部构造的区块重新落实构造,精细优选圈闭,部署实施预探井两口,全部成功,发现了苏北盆地第二大油田——陈堡油田。

5.3 例三

理顺了金湖-高邮凹陷主要断层体系的特征、性质和构局,进一步搞清了断层和局部构造的展布规律,如图1所示,应用得到实际证实。如推测铜城断层为“P”剪切走滑断层得到三维地震资料佐证,解释泥沛、崔庄逆断层得到C17-2井钻探证实。

参 考 文 献

- 1 钱基,金之钧,张金川,等. 苏北盆地盐城凹陷深盆气藏[J]. 石油与天然气地质,2001,22(1): 26~ 29
- 2 张人玲. 江苏油田高勘探区复杂断块油藏的滚动勘探开发[J]. 石油与天然气地质,2003,24(3): 304~ 308
- 3 邱旭明. 苏北盆地断块圈闭分类及油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2003,24(4): 371~ 374
- 4 Harding T P. 用地下构造资料鉴定扭断层带的标志和陷井[J]. 王克宁译. 国外油气勘探,1991,3(4): 16~ 33
- 5 王燮培,费琪. 石油勘探构造分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1990. 133~ 160
- 6 信荃麟,刘泽容. 含油气盆地构造岩相分析[M]. 北京:地质出版社,1993. 159~ 165
- 7 冀国盛,戴俊生,马欣本,等. 苏北盆地闵北地区阜宁组一段、

(下转第293页)

参 考 文 献

- 1 玉门油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷13)玉门油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 84~140
- 2 霍永录, 谭试典. 酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 84~140
- 3 赵应成. 酒西盆地含油气系统与油气勘探方向[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 362~367
- 4 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 99~122
- 5 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成和运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 14~109
- 6 涂建琪, 张大江, 许怀先. 中国侏罗纪煤的激光显微荧光特征及其成熟度意义[A]. 见: 张大江. 第四届全国石油地质实验技术及实验室管理工作交流会议论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 197~200
- 7 Dow W G. Kerogen studies and geological interpretations[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7: 79~99
- 8 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence(2nd ed)[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984
- 9 周中毅, 潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1992. 1~57
- 10 任战利, 赵重远, 陈刚. 沁水盆地中生代晚期构造热事件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 46~48
- 11 尹凤娟, 刘洪福, 华洪. 三塘湖盆地晚二叠世芦苇沟组孢粉组合[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 392~396
- 12 汪新伟, 汪新文, 韩效忠. 运用磷灰石裂变径迹分析十万山盆地的地热史[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 385~390
- 13 Waples D W. Time and temperature in petroleum exploration[J]. AAPG Bull, 1980, 64: 916~926
- 14 Tissot B P, Pelet R, Ungerer P H. Thermal history of sedimentary basins, maturation indices, and kinetics of oil and gas generation[J]. AAPG Bull, 1987, 71(12): 1445~1466
- 15 Burnham A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 2649~2657
- 16 Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. AAPG Bull, 1990, 74(10): 1559~1570
- 17 宋党育, 秦勇. 镜质体反射率反演的 EASY%R。数值模拟新方法[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 15~17
- 18 徐永元, 徐廉. 塔里木盆地多期构造演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 619~623
- 19 邱楠生, 金之钧, 王飞宇. 多期构造演化盆地的复杂地温场对油气生成的影响——以塔里木盆地塔中地区为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 142~144
- 20 徐永元, 徐廉. 塔里木盆地多期构造演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报, 1993, 38(2): 155~158
- 21 任战利, 刘池阳, 张小会, 等. 酒东盆地热演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 619~623
- 22 邱楠生, 金之钧, 王飞宇. 多期构造演化盆地的复杂地温场对油气生成的影响——以塔里木盆地塔中地区为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 142~144
- 23 徐永元, 徐廉. 塔里木盆地多期构造演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报, 1993, 38(2): 155~158
- 24 Tissot B P, Welte D H. 石油的形成与分布[M]. 徐永元, 徐廉, 郝石生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1989
- 25 段毅, 周世新. 塔里木盆地石炭系烃源岩热模拟实验研究——II. 生物标志化合物的组成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 13~16
- 26 林鹤鸣, 夏邦栋. 下扬子区中生代溧水—南陵拉分盆地的厘定[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 276~281
- 27 徐嘉伟. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316~323
- 28 张云银. 郯庐断裂带含油气性研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 28~32

(上接第283页)

- 二段火山岩的储集特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 289~291
- 8 夏邦栋, 李培军, 尚彦军, 等. 下扬子区中生代走滑活动带初析[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(3): 193~200
- 9 尚彦军, 夏邦栋, 林鹤鸣, 等. 下扬子区晚中生代逃逸构造初探[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 177~182

- 10 林鹤鸣, 夏邦栋. 下扬子区中生代溧水—南陵拉分盆地的厘定[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 276~281
- 11 徐嘉伟. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316~323
- 12 张云银. 郯庐断裂带含油气性研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 28~32