

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0162- 08

晚新生代青藏高原构造挤出及其 对中国东部裂陷盆地晚期油气成藏的影响

张岳桥

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 基于青藏高原东部地区走滑- 冲断变形系统的运动学和年代学分析以及华北地区新构造变形特征研究, 提出了青藏高原东部晚新生代 3 阶段向东构造挤出的运动学模式, 论述了每一个挤出阶段构造形变图像和块体运动方式, 讨论了构造挤出对中国东部裂陷盆地油气晚期成藏的控制作用。研究表明, 第一阶段构造挤出发生在中新世中晚期的 12~ 5 Ma 期间, 最显著的构造形变特征是鲜水河断裂带强烈的左旋走滑运动、红河断裂右旋走滑运动和川滇地块向东挤出。这期构造挤出使整个华南地块发生逆时针旋转, 在南海北部大陆架产生右旋拉伸剪切应力场, 引起珠江口盆地近东西向伸展断裂系统的复活。第二阶段构造挤出发生在上新世- 早更新世的青藏运动时期(约 4~ 0.8 Ma), 最显著的构造变形特征包括昆仑- 秦岭断裂系和海原断裂强烈的左旋走滑运动、华北地区次级地块的逆时针旋转、鄂尔多斯地块周缘地堑系的引张变形、大渤海湾盆地内部北北东向断裂右旋剪切活动和郯庐断裂右旋走滑活动等。这期构造挤出使华南地块发生顺时针旋转。第三阶段挤出作用发生在中晚更新世以来, 川滇地块围绕喜马拉雅东构造带发生顺时针涡轮状旋转; 岷山- 龙门山构造带以走滑运动为主, 地壳缩短作用较弱; 华南地块向东挤出作用减弱。新生代这 3 期构造挤出作用对中国东部沿海大陆架断陷盆地发展和油气晚期成藏产生了重要影响。

关键词: 挤出构造; 青藏高原; 华南地块; 华北地区; 郯庐断裂; 晚新生代; 晚期油气成藏

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

Late Cenozoic squeezing-out tectonism in Qinghai-Tibet Plateau and its impacts on late hydrocarbon accumulation in rift basins in eastern China

Zhang Yueqiao

(Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract: Based on kinematic and geochronologic analyses of the strike-slip thrust deformation system in eastern Qinghai-Tibet plateau, and in combination with the study of neotectonic deformation characteristics in North China, this paper proposes a 3-stage kinematic model of eastward squeezing-out tectonism in eastern Qinghai-Tibet Plateau during the late Cenozoic, describes the presentation of tectonic deformation and pattern of block movement occurring in each squeezing-out stage, and discusses the control of squeezing-out tectonism on late hydrocarbon accumulation in rift basins in eastern China. The first squeezing-out stage that occurred during the middle and late Miocene (12~ 5 Ma) was remarkably characterized by tectonic deformations of strong left-lateral strike-slip movement of Xianshuihe fault zone, right-lateral strike-slip movement of Honghe fault, and eastward squeezing-out of Chuankuan Dian (Sichuan-Yunnan) block. This tectonic squeezing-out stage resulted in counterclockwise rotation of South China Block, and led to the development of right-lateral extensional-shear stress field in the northern shelf of South China Sea and reactivation of the near E-W trending extensional fault system in Pearl River basin. The second squeezing-out stage that occurred during the Qinghai-Tibet movement in Pliocene and Early Pleistocene (about 4~ 0.8 Ma), was characterized by prominent tectonic deformations, such as strong left-lateral strike-slip movements of Kunlun-Qinling fault system and Haiyuan

基金项目: 国土资源部“十五”重点基础研究项目(20010202)和中国地质调查局地质调查项目(200110110002)

作者简介: 张岳桥, 男, 41 岁, 研究员(博士生导师), 构造地质、新构造和盆地分析

收稿日期: 2004- 03- 17

fault, counterclockwise rotation of the sub-blocks in North China, extensional deformation of the graben system in periphery of Ordos block, right-lateral shear movement of the NNE faults in Bohai Bay basin, and right-lateral strike-slip movement of Tanlu fault. This tectonic squeezing-out stage led to the clockwise rotation of South China block. The third squeezing-out stage that occurred since middle and late Pleistocene resulted in the clockwise and turbine-like rotation of Chuan-Dian block around the late Himalayan east tectonic belt, strike-slip movement of Minshan-Longmen-shan tectonic belt with weak crust shortening, and weakening of eastward squeezing-out of South China Block. These three Cenozoic tectonic squeezing-out stages have heavily influenced the development of fault basins and late hydrocarbon accumulation in the offshore shelf in eastern China.

Key words: squeezing-out tectonism; Qinghai-Tibet Plateau; South China Block; North China area; Tanlu fault; Late Cenozoic; late hydrocarbon accumulation

印度大陆与欧亚大陆的碰撞和持续的陆-陆汇聚作用在亚洲大陆产生了广泛的陆内变形^[1~5],这种变形不仅只限于喜马拉雅、青藏高原及其向北延展的碰撞轴向地带,如天山-阿尔泰-贝加尔构造带^[6~8],还波及到偏离碰撞轴向带的外围地区,如印支地区、华南和华北地区等,这种认识已被日益积累的遥感图像解译、活动构造研究、地震地质研究和全球定位测量系统(GPS)观测结果所证实,其产生的资源环境效应引起广泛的重视。构造挤出或逃逸模式(tectonic extrusion)成功地解释了偏离碰撞轴向地带的大陆块体运动和构造变形特征^[9~11]。这种挤出模式是通过大型走滑断裂带来实现的,如红河断裂、鲜水河断裂、昆仑-秦岭断裂、海原断裂等^[1~3]。研究和确定这些走滑断裂的位移量、位移速率、位移分布和位移发生时间等是检验大陆构造挤出模式的关键参数。尽管大幅度的构造挤出模式受到了广泛的质疑^[12,13],但构造挤出作用作为印度-欧亚碰撞引起的重要陆内变形方式已被大部分地质学家所肯定。野外调查和实验室研究已经证实,在印度大陆和欧亚大陆新生代碰撞过程中,地块构造挤出作用呈阶段性发展,印支地块的侧向挤出发生在古近纪晚期和新近纪早期,华南地块的挤出发生在中新世中晚期,而华北地块的挤出则发生在上新世以来。同时受到碰撞边界和挤出边界条件的限制,不同时期块体构造挤出的幅度和产生的终端效应不同,对盆地发展产生的影响也不一样。

本文基于青藏东缘构造地貌边界带构造变形样式和断裂剪切变形年代学分析,结合华北地区新构造变形样式,重点阐述晚新生代青藏高原构造向东挤出作用过程、时段性及其终端效应,分析构造挤出对中国东部裂陷盆地晚期油气成藏的影响

和控制作用。

1 构造地貌特征与晚新生代变形历史

1.1 分段特征

青藏高原东缘是一个复杂、形态不规则的构造地貌边界带,受到4条近东西向活动走滑断裂的分割^[14,15],将其分成北、中、南3段(图1)。北段夹于海原断裂带和西秦岭北缘断裂带之间,对应于陇西地块,六盘山构造带成为陇西高原与鄂尔多斯地块之间的构造边界带;中段夹于东昆仑断裂与鲜水河断裂带之间,是川西高原的主体,岷山-龙门山隆起带构成了高原东部边界带;南段夹于鲜水河-安宁河-小江断裂带和红河断裂带之间,锦屏山-玉龙雪山构成了青藏高原的东界,以东地区是康滇地轴;以西为横断山区,也称川滇高原。

位于西秦岭北缘断裂带与东昆仑断裂带之间的构造带形成了一个独立的构造地貌单元,即甘南高原。高原内部发育一系列不同方向的新近纪走滑拉分盆地,盆地内充填红色砂泥岩。

1.2 东南缘

鲜水河-安宁河断裂带晚新生代左旋走滑历史和红河断裂带从左旋走滑向右旋走滑的转换过程记录了青藏东南部横断山区川滇地块的向东挤出历史。

根据同岩浆侵入期断裂带剪切变形的放射性同位素年代学研究结果,鲜水河断裂带经历了两期重要的左旋剪切事件,早期发生在中新世中、晚期,断裂带剪切变形的Ar-Ar和Rb-Sr年龄为12~10 Ma^[16],这期剪切变形伴随着折多山中细粒花岗岩体的侵入;晚期剪切发生在上新世早期,Ar-Ar年龄为4~5.5 Ma,这次剪切作用导致断裂带北侧局部地区细粒花岗岩体的侵入。上新世晚

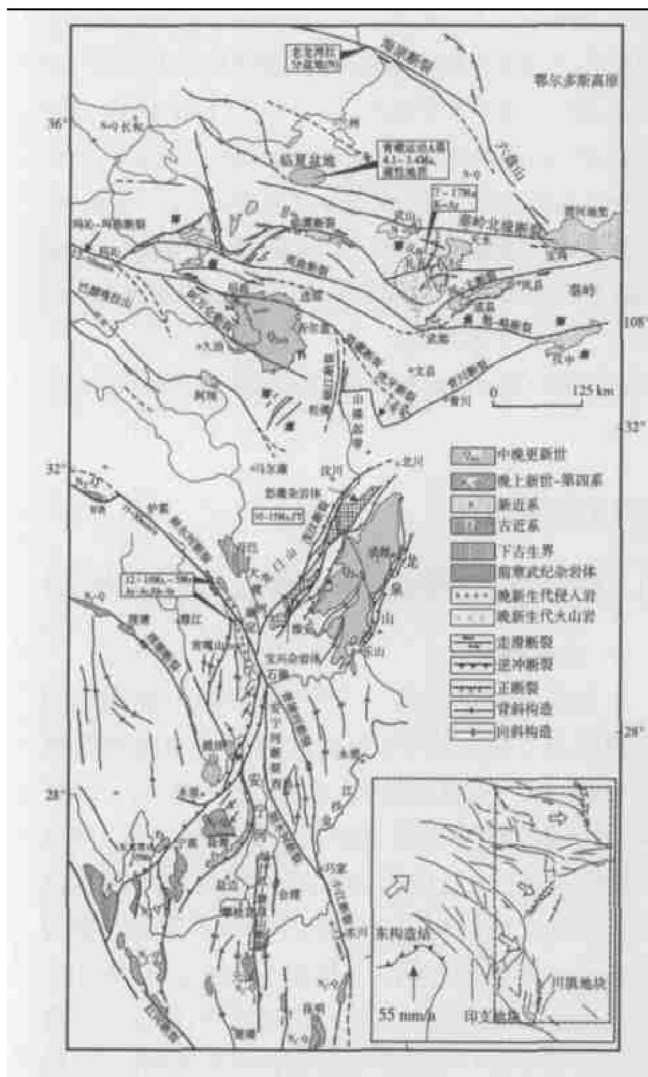


图1 青藏东缘西部地貌边界带晚新生代构造纲要图

Fig. 1 Late Cenozoic structure outline map in geomorphologic boundary zone along the eastern margin of Qinghai-Tibet Plateau

期以来, 鲜水河断裂带以脆性变形为主, 沿断裂带发育断层泥。

安宁河断裂带晚新生代变形历史可以分为5个阶段^[17]。第一阶段发生在昔格达组湖相沉积之前(3.9~3.4 Ma之前), 以挤压剪切变形为主, 沿断裂带记录了一套白色的断层泥。这期挤压作用使大凉山地区中生代盖层拆离, 形成褶皱构造。第二阶段发生在昔格达湖相沉积时期, 安宁河断裂带以引张走滑活动为主, 变形强度较弱, 构造环境相对比较稳定。第三阶段发生在早、中更新世之间, 这次挤压变形导致昔格达组湖相地层的褶皱变形, 挤压方向为北西至近东西向。这次事件在攀西地区称为“元谋运动”^[18, 19], 发生的时代在1.1~0.8 Ma。第四阶段发生在中晚更新世时期, 以引张变形为主, 沿安宁河断裂带发生断陷, 形成狭

长的断陷谷地。最后一个阶段发生在晚更新世晚期-全新世时期, 构造变形以挤压走滑为主, 变形集中在安宁河、则木河等主要活动边界断裂带上。

红河断裂带是一条重要的板块边界带, 新生代时期这条断裂带经历了早期左旋剪切和晚期右旋剪切的运动学演化历史。大量的同位素年代学研究表明^[20~22], 早期左旋剪切变形发生在渐新世-中新世早期, 同位素年龄集中在32~20 Ma, 这期剪切变形调节了印支地块向南东方向的构造挤出。红河断裂带从左旋剪切向右旋走滑变形转换的时代发生在中新世中晚期, 约16 Ma以来。在24~16 Ma时期内没有岩浆活动, 红河断裂带处于相对稳定状态。

1.3 岷山-龙门山构造带

岷山-龙门山构造带由岷山隆起带和龙门山中南段冲断-推覆构造带组成。南北向岷山隆起带分别受西侧的岷江断裂带和东侧的虎牙断裂带所夹持^[23~25]; 北东-南西向龙门山构造带中南段是一个由彭灌和宝兴两个杂岩体以及映秀断裂和茂汶断裂组成的复杂冲断推覆系统。岷山-龙门山构造带继承了印支期和燕山期构造格架, 晚新生代以来随着青藏高原的隆升, 经历了强烈的复活历史^[25]。根据岷江断裂带和龙门山山前地带地层记录^[26]和裂变径迹年龄、U-Tu/He测年数据^[27, 28], 岷山-龙门山构造带晚新生代经历了至少两次重要的挤压变形事件。第一次挤压作用发生在中新世晚期至上新世早期(10~3 Ma), 最显著的变形特征是岷江断裂带强烈的冲断作用和岷山隆起带的快速崛起, 龙门山中南段冲断-推覆构造带形成和发育, 在山前堆积了一套冲积扇成因的大砾岩。第二次挤压事件发生在早更新世末期和中更新世初期, 时代在1.1~0.8 Ma, 使岷江上游漳腊盆地中更新统观音山组冲积扇沉积与下伏下更新统红色沉积之间角度不整合接触。这期构造事件之后, 整个川西高原整体抬升, 进入了深切河谷发育时期, 川西高原“V”型谷地开始形成。

1.4 西秦岭构造带

地质和活动断裂构造研究表明, 甘南高原的西秦岭地区, 晚新生代构造演化可分为3个显著不同的变形阶段(图2)。第一阶段发生在中新世中晚期, 构造变形以引张走滑和拉分作用为主, 西秦岭构造带内主要断裂带左旋走滑复活, 沿断裂带形成一系列新近纪拉分盆地, 在宕昌等局部拉



图 2 西秦岭地区晚新生代构造变形阶段与断裂运动学
Fig. 2 Late Cenozoic tectonic deformation stages and kinematics of faulting in western Qinling region

分区发生幔源火山喷发^[29], 喷发年龄在 7~ 18 Ma。第二阶段发生在上新世至早更新世时期, 构造变

形以挤压走滑和挤压逆冲为主。这个阶段构造变形在临夏盆地内有良好的地层记录, 并做了详细的年代学研究。根据磁性地层研究结果, 最重要的一期构造变形事件发生在 4.1~ 3.4 Ma, 李吉均等^[30~ 33]将其命名为“青藏运动 A 幕”, 另外有两次事件发生在 2.5 Ma 和 1.65 Ma, 分别命名为“青藏运动 B 幕和 C 幕”。第三阶段发生在中、晚更新世以来, 构造活动主要集中在昆仑断裂带及其分支上, 构造变形以左旋走滑为主, 兼有正向倾滑活动。

1.5 海原- 六盘山断裂带

该断裂带构成了青藏高原东北缘的边界带。详细野外填图和研究工作表明, 晚新生代海原断裂与西秦岭地区断裂具有相同的演化历史^[33~ 34]。中新世时期, 海原断裂以引张走滑活动为主, 沿断裂带发育拉分盆地, 如老龙湾盆地^[35]。上新世- 早更新世时期, 受到“青藏运动”的影响, 海原断裂发生强烈的挤压走滑运动, 沿断裂带形成近北西- 南东向的褶皱构造, 调节断裂带左旋走滑活动; 六盘山构造带在此时期开始形成。晚第四纪以来, 海原断裂带以左旋剪切变形为主, 局部发育拉分盆地, 六盘山构造带则以褶皱- 逆冲变形为主。

2 变形样式转换与阶段划分

以上论述可以看出, 晚新生代青藏东缘变形样式经历了两次重要的转换(图 3)。一次发生在上新世早、晚期青藏运动“ A ”幕前后, 另一次发生

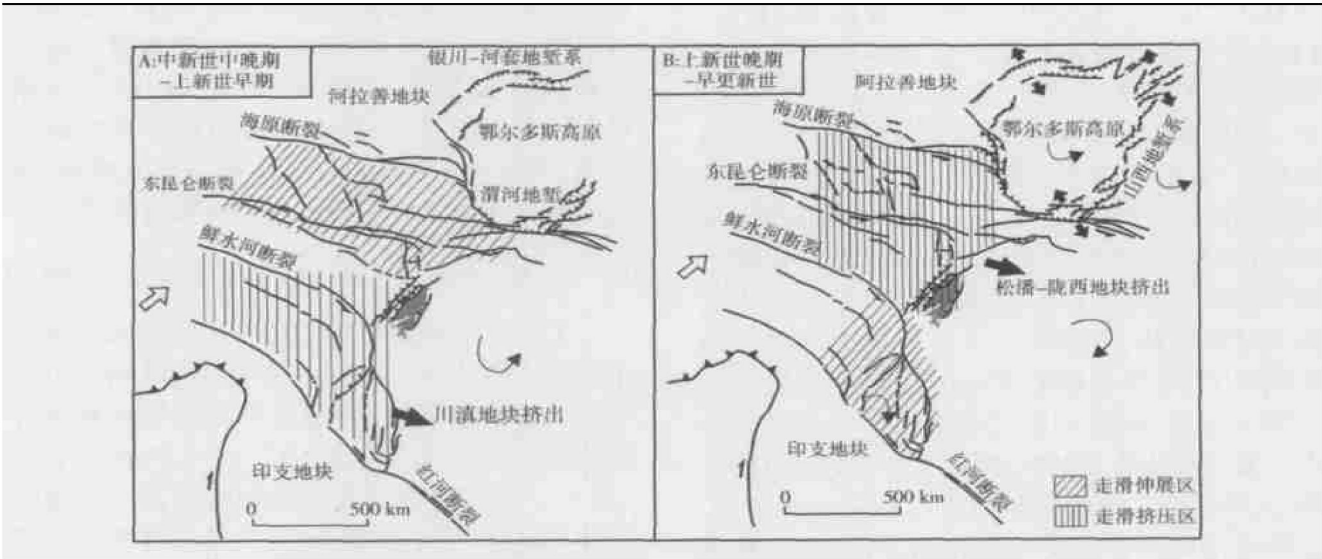


图 3 青藏高原东缘晚新生代构造变形样式转换和挤出构造运动学
Fig. 3 Transformation of tectonic deformation patterns in late Cenozoic and kinematics of squeezing-out tectonism on the eastern margin of Qinghai-Tibet Plateau

在早更新世末期昆-黄运动或元谋运动前后。基于这种构造变形样式和变形强度的综合分析,结合华北地区新构造变形样式和运动学分析^[36~38],笔者将青藏高原向东构造挤出作用分为 3 个阶段。

第一阶段构造挤出发生在中新世晚期至上新世早期(12~5 Ma),笔者将这个构造挤出时期称为“川滇挤出期”。青藏高原东南部横断山区的川滇地块发生向南东方向挤出,受到红河断裂带右旋走滑和鲜水河断裂带左旋走滑的位移调节,挤出作用不仅使青藏东南缘地壳增厚和高原快速隆升,同时沿康滇南北带发生盖层拆离,西昌盆地、楚雄盆地等发生褶皱变形,攀西高原和云贵高原在此运动时期基本定型。这期构造挤出作用由南向北明显减弱。在西秦岭地区,断裂构造变形以走滑伸展活动为主,发育新近纪拉分盆地,局部发生幔源火山喷发。在这个阶段的挤出过程中,华南地块反时针旋转,旋转轴位于华南地块之外的东北地区。

第二阶段构造挤出发生在上新世-早更新世的青藏运动和昆-黄运动时期(4~0.8 Ma),笔者将这期构造挤出称为“松潘-陇西挤出期”,构造挤出作用主要发生在青藏东缘的中段和北段。受到甘孜地块和陇西地块的向东推挤,岷山-龙门山隆起带和六盘山构造带快速崛起,华南地块和鄂尔多斯地块向东挤出。这个挤出过程呈现幕式发展特征,青藏运动“A”幕(3.4 Ma)、“B”幕(2.5 Ma)、“C”幕(1.65 Ma)、昆-黄运动(1.1~0.8 Ma)等是最重要的构造-地貌事件^[30,31]。最显著的变形特征发生在青藏高原东北部地区,沿昆仑-秦岭断裂系和海原断裂带发生强烈的左旋走滑复活,它们的向东扩展导致了华北地区复杂的构造变形组合(图 4, 5)。一方面,海原断裂左旋走滑运动和陇西地块向东推挤导致六盘山褶皱-冲断带的形成和隆升、鄂尔多斯地块发生绕直立轴的逆时针旋转,沿地块西北边界发生北西-南东向地壳引张,形成弧形展布的银川-河套地堑系。另一方面,松潘-甘孜地块的向东推挤导致岷山-龙门山构造带的快速崛起和华南地块的向东挤出,沿昆仑-秦岭断裂带发生左旋走滑活动。在这种东西向左旋剪切力偶作用下,山系地堑系形成和发育,华北地块内部北东至北北东向断裂发生右旋走滑复活,郯庐断裂带发生右旋剪切运动(图 4, 5)。

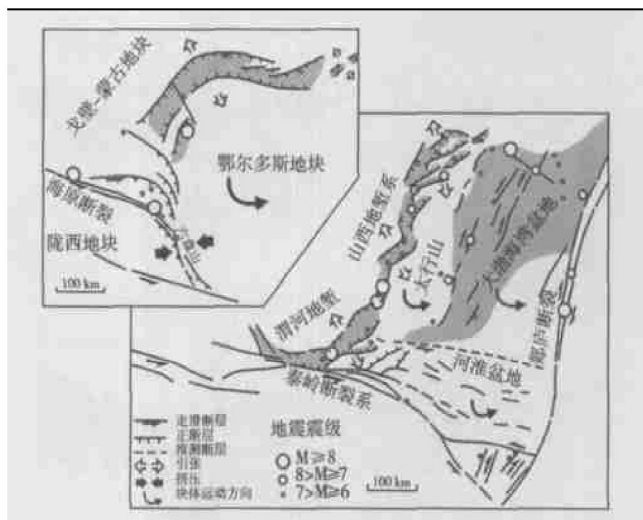


图 4 青藏高原东北部地区块体挤出和断裂左旋走滑运动与华北地区地壳伸展和块体旋转之间的运动学联结模式

Fig. 4 Kinematic linking model between block squeezing out and left-lateral strike-slip faulting in northeastern Qinghai-Tibet plateau and crustal extension and block rotation in North China

第三阶段构造挤出作用发生在中晚更新世以来,这个时期的构造运动也称为最新构造变动。随着青藏高原的快速隆升,高原内部和周边地区区域应力场发生变化,相应的块体运动方式、变形样式和强度明显不同于早期构造阶段。GPS 测量和活动断裂研究结果表明,这期构造挤出的显著特征表现为以下几个方面:青藏高原东南部川滇地块围绕喜马拉雅东构造带发生涡轮状旋转^[39];鲜水河-安宁河-则木河-小江断裂带左旋走滑活动;岷山隆起带向南挤出^[23];龙门山主边界断裂带右旋走滑活动;东昆仑和海原断裂带左旋走滑活动;华南地块整体向东挤出作用明显减弱,而华北地区次级地块向东挤出作用显著增强^[40]。

3 中国东部裂陷盆地中的形变响应

上述 3 个构造挤出阶段在中国东部裂陷盆地中具有不同的变形响应。在中新世晚期-上新世早期的川滇挤出期,华南地块向东挤出和逆时针旋转在沿海大陆架盆地中产生不同的变形特征(图 5)。莺歌海盆地在新近纪时期进入了裂陷后期演化阶段;中新世晚期-上新世莺黄组沉积时期,受到红河断裂带右旋剪切活动的影响,莺歌海盆地处于斜向拉伸状态,主边界断裂活动触发了深部物质的上隆和盆地内热流体自超压封存箱的

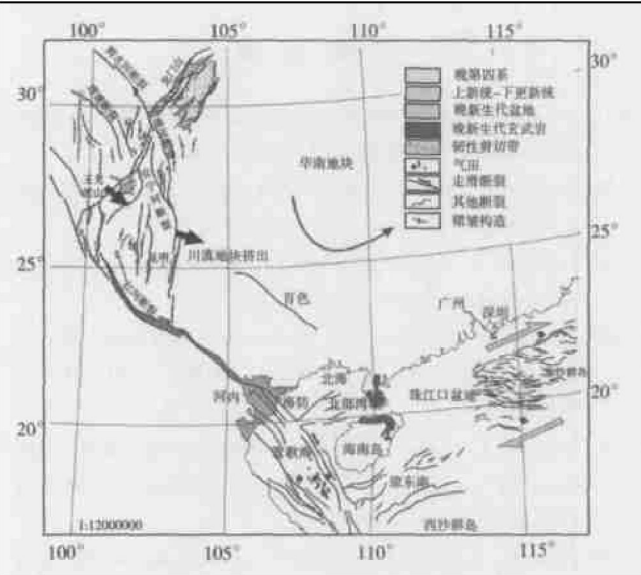


图 5 中新世中晚期- 上新世早期川滇地块和
华南地块挤出构造运动学及其对南海北部
大陆架盆地和晚期油气成藏的控制作用

Fig. 5 Kinematics of squeezing-out tectonism of Chuarr Dian
and South China blocks in middle and late Miocene and early
Pliocene and their control on development of shelf basins and
late hydrocarbon accumulation in northern South China Sea

突破,在盆地中形成了成群成带、有规律分布的泥底劈构造,成为莺歌海盆地天然气勘探的主要目标^[41]。在南海北部大陆架珠江口盆地中,中新世

以来的断裂伸展活动十分强烈,尤以晚中新世-上新世断裂最为发育,断裂构造走向近东西向^[41]。这组伸展断裂活动与华南地块向东挤出和逆时针旋转有关。华南块体逆时针旋转在南海北部大陆架产生一个右旋拉伸应力场,引张应力方向大致为北东-南西至北北东-南南西向。正是在这样一个引张应力场作用下,新近纪晚期南海北部大陆架先成断裂广泛复活,导致密集的东西向断裂构造发育(图 5)。

在东海大陆架盆地和台湾海峡地区,新近纪断裂构造不甚发育^[41]。最显著的构造反转事件发生在中新世晚期至上新世初期的龙井运动,导致了西湖凹陷中央褶皱构造带的形成。这期构造反转事件与台湾碰撞事件有关,同时与华南地块早期向东挤出作用在时间上是同时的,表明华南地块向东挤出也影响了新近纪东海盆地的构造发展。

上新世-早更新世时期青藏高原构造挤出作用主要影响了华北地区新构造变形样式和裂陷盆地的发展(图 6)。在华北地区,上新世山西地堑系的发育标志着第二阶段华南地块的向东挤出(图 3)。在大渤海湾盆地,一系列北东至北北东向断裂发生右旋剪切活动,形成花状构造;挤压剪切作用最强烈的地段发生在郯庐断裂带。在山东沂沭

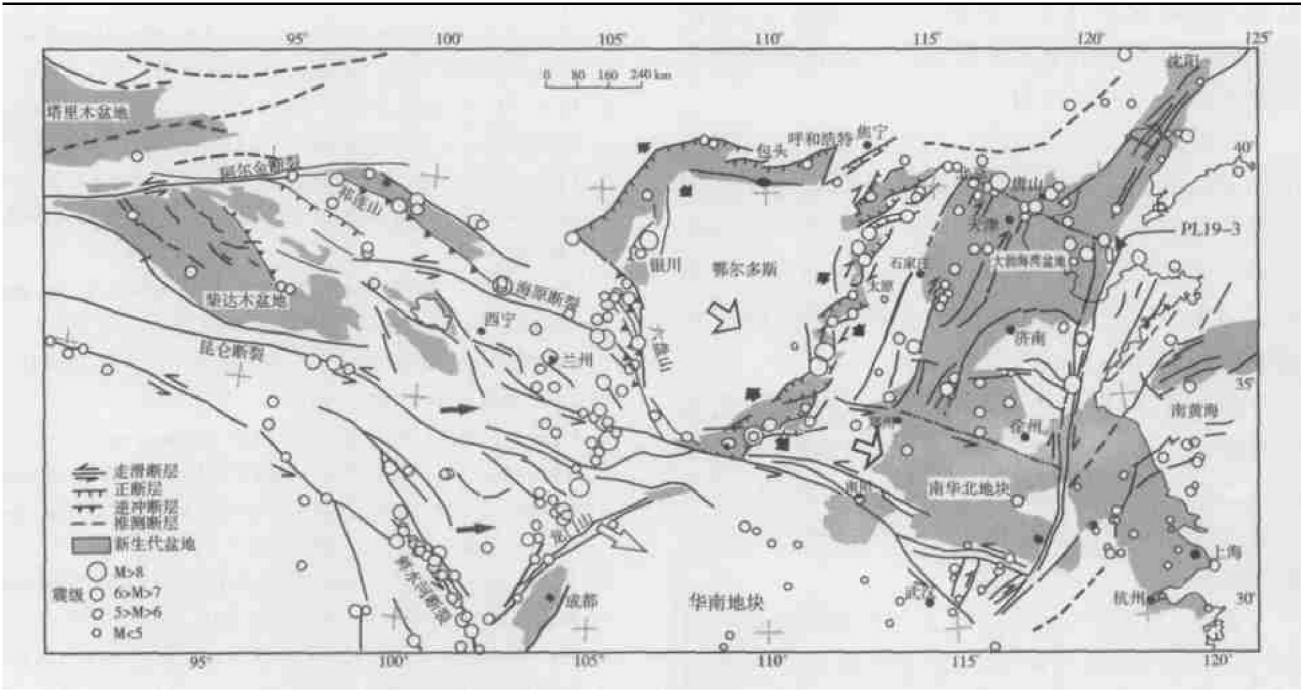


图 6 青藏高原东北部地区和华北地区上新世- 第四纪构造变形样式和块体运动学

Fig. 6 Pliocene-Quaternary tectonic deformation patterns and kinematics of block movement in
northeastern Qinghai-Tibet plateau and North China

地区, 郯庐断裂上新世以来右旋走滑复活形成一系列构造地貌特征, 如挤压脊、拉分盆地、水系错动等。在渤中和下辽河地区, 郯庐断裂带右旋走滑活动造成局部地区上正、下负的花状构造。PL19-3 构造的几何复原研究结果显示, 一期重要的挤压作用发生在早、中更新世时期, 可能与青藏东缘的“元谋运动”或“昆-黄运动”相呼应。

最新一期构造挤出作用主要控制了裂陷盆地断裂活动样式和地震活动, 这期构造挤出影响的地区包括鄂尔多斯地块周缘地堑系、大渤海湾盆地内的地震构造带如张家口-渤海地震构造带、郯庐断裂带沂沭段和渤海段等(图6)。

4 对东部裂陷盆地油气晚期成藏的影响

中新世时期, 中国东南沿海大陆架盆地和华北地区大渤海湾盆地进入了以热沉降体制为主导的盆地演化阶段, 除了渤中凹陷和珠江口盆地以外, 大多数盆地断裂活动不强烈, 但幔源基性火山喷发活动极其活跃。断陷盆地内古近纪烃源岩进入了高成熟至过成熟的热演化阶段, 新近纪烃源岩也进入了成熟的演化阶段。中新世中晚期以来的构造运动使中国东南沿海大陆架盆地和华北地区大渤海湾盆地进入了晚期油气成藏时期, 而青藏高原向东构造挤出对晚期油气成藏过程起到了重要的影响和控制作用。

一方面, 在莺歌海盆地, 由红河断裂右旋剪切活动诱发的泥底劈作用是该盆地晚期天然气成藏的主要动力^[42]。在珠江口盆地, 中新世中晚期断裂斜张活动引起局部地区浅层气藏的形成。华南地块向东挤出影响了东海大陆架和台湾海峡中新世晚期构造反转和油气晚期成藏。

另一方面, 在渤中海区, 上新世以来郯庐断裂带右旋挤压剪切活动直接控制了渤中地区构造的发育^[43~47], 油气沿断裂带运移和聚集, PL19-3 油田成为渤中海区受新构造运动控制的晚期油气成藏的典范^[48]。

致谢: 本文于2003年10月在北京怀柔举行的《我国喜马拉雅运动对沉积盆地的控制作用与油气晚期成藏》学术研讨会上进行交流, 与刘池阳教授、葛肖虹教授、万天丰教授、王二七研究员等讨论, 受益匪浅, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effect of a continental collision[J]. *Science*, 1975, 189: 419~426
- 2 Tapponnier P, Molnar P. Slip line field theory and large-scale continental tectonics[J]. *Nature*, 1976, 264: 319~324
- 3 Tapponnier P, Molnar P. Active faulting and tectonics in China[J]. *Jou of Geophy Res*, 1982, 82 (20): 2 905~2 930
- 4 Burchfiel B C, Roydenn L H. Tectonics of Asia 50 years after the death of Emile Argand[J]. *Eclogae Geol Helv*, 1991, 84 (3): 599~629
- 5 Le Pichon X, Fournier M, Jolivet L. Kinematics, topography, shortening, and extension in the India-Eurasia collision[J]. *Tectonics*, 1992, 9 (6): 1 409~1 419
- 6 Peltzer G, Tapponnier P. Formation and evolution of strike-slip faults, rifts and basins during the India-Asia collision: an experimental approach[J]. *Jou of Geophy Res*, 1988, 93: 15 085~15 117
- 7 Davy P, Cobbold P R. Indentation tectonics in nature and experiments, 1, central Asia[J]. *Bull Geol Inst Uppsala*, 1988, 14: 129~142
- 8 Cobbold P R, Davy P. Indentation tectonics in nature and experiments, 2, central Asia[J]. *Bull Geol Inst Uppsala*, 1988, 14: 143~162
- 9 Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plastine[J]. *Geology*, 1982, 10: 611~616.
- 10 Tapponnier P, Peltzer G, Amijo R. On the mechanics of the collision between India and Asia[A]. In: Ramsay J G, Coward M P, Ries A. Collision tectonics[C]. Geological Society of London, 1982, 19: 115~157
- 11 Avouac J P, Tapponnier P. Kinematic model of active deformation in central Asia[J]. *Geophy Res Letters*, 1993, 20(10): 859~898
- 12 Dewey J F, Cande S, Pitman W C. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone[J]. *Eclogae Geol Helv*, 1989, 82: 717~734
- 13 England P, Houseman D P. Right-lateral shear and rotation as the explanation of strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. *Nature*, 1990, 344: 140~143
- 14 Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet plateau[J]. *Science*, 2001, 294: 1 671~1 677
- 15 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 等. 青藏高原新生代构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 1~190
- 16 Roger F, Calassou S, Lancelot J, et al. Miocene emplacement and deformation of the Konga Shan granite (Xianshuihe fault zone, west Sichuan, China): geodynamic implications[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1995, 130: 201~216
- 17 张岳桥, 杨农, 孟晖, 等. 四川攀西地区晚新生代构造变形历史与隆升过程初步研究[J]. *中国地质*, 2004, 31(1): 23~33
- 18 张宗祜. 川滇南北构造带中段晚新生代地质研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1~264
- 19 陈富斌, 赵永涛. 攀西地区新构造[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988. 1~102
- 20 Wang Jianghai, Yin A, Harrison T M, et al. A tectonic model for

- Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collisional zone [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2001, 188: 123~ 133
- 21 Chung S L, Lee T Y, Lo C H, et al. Intraplate extension prior to continental extrusion along the Ailao Shan-Red River shear zone[J]. *Geology*, 1997, 25: 311~ 314
 - 22 Scharer U, Zhang L S, Tapponnier P, et al. The Red River belt, China [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1994, 126: 379~ 397
 - 23 Chen S F, Wilson C J L, Deng Q D, et al. Active faulting and block movement associated with large earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains, northeastern Tibetan Plateau[J]. *Jou of Geophy Res*, 1994, 99: 24 025~ 24 038
 - 24 邓起东, 陈社发, 赵小麟. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学[J]. *地震地质*, 1994, 16(4): 389~ 403
 - 25 Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y, et al. Tectonics of the Longmenshan and adjacent regions, central China [J]. *International Geology Review*, 1995, 37: 661~ 735
 - 26 李勇, 侯中健, 司光影, 等. 青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件[J]. *中国地质*, 2002, 29(1): 30~ 36
 - 27 Arne D, Worley B, Wilson C H, et al. Differential exhumation in response to episodic thrusting along the eastern margin of the Tibetan plateau[J]. *Tectonophysics*, 1997, 280: 239~ 256
 - 28 Kirby E, Reiners P W, Krol M A, et al. Late Cenozoic evolution of the eastern margin of the Tibetan Plateau: inferences from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U-Th)/He thermochronology [J]. *Tectonics*, 2002, 21(1): 1~ 19
 - 29 喻学惠. 甘肃礼县-宕昌地区新生代钾质碱性超基性火山岩的特征及成因[J]. *特提斯地质*, 1994, 18: 114~ 129
 - 30 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆升[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4): 316~ 322
 - 31 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. *科学通报*, 1998, 43(15): 1 569~ 1 574
 - 32 施雅风, 李吉均, 李炳台. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 1~ 463
 - 33 Burchfiel B C, Zhang Peizhen, Wang Yipeng, et al. Geology of the Haiyuan fault zone, Ningxia-Hui Autonomous Region, China, and its relation to the evolution of the northeastern margin of the Tibetan Plateau[J]. *Tectonics*, 1991, 10: 1 091~ 1 110
 - 34 Zhang P, Burchfiel B C, Molnar P, et al. Amount and style of late Cenozoic deformation in the Liupanshan area, Ningxia-Hui Autonomous Region, China[J]. *Tectonics*, 1991, 10: 1 111~ 1 129
 - 35 田勤俭, 申旭辉, 丁国瑜, 等. 海原断裂带内第三纪老龙湾拉分盆地的地质特征[J]. *地震地质*, 2000, 22(3): 329~ 336
 - 36 Zhang Y, Vergely P, Mercier J L. Active faulting in and along the Qiriling Range (China) inferred from SPOT imagery analysis and extrusion tectonics of south China[J]. *Tectonophysics*, 1995, 243: 69~ 95
 - 37 Zhang Y, Mercier J L, Vergely P. Extension in the graben systems around the Ordos (China), and its contribution to the extrusion tectonics of south China with respect to Gobi-Mongolia[J]. *Tectonophysics*, 1998, 285: 41~ 75
 - 38 Zhang Y, Vergely P, Mercier J L. Pliocene-Quaternary faulting pattern and left-slip propagation tectonics in north China[J]. *Episodes*, 1999, 22(2): 84~ 88
 - 39 Chen Z L, Burchfiel B C, Liu Y, et al. GPS measurements from eastern Tibet and their implications for India/Eurasia intracontinental deformation[J]. *Jou of Geophy Res*, 2000, 105: 16 215~ 16 227
 - 40 Shen Z K, Zhao C, Yin A, et al. Contemporary crustal deformation in east Asia constrained by global positioning system measurements[J]. *Jou of Geophy Res*, 2000, 105: 5 721~ 5 734
 - 41 朱伟林. 中国近海含油气盆地形成演化及其构造特征[A]. 见: 李德生. 中国含油气盆地构造学[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 292~ 305
 - 42 张启明. 莺-琼盆地构造演化控制油气系统[A]. 见: 李德生. 中国含油气盆地构造学[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 488~ 499
 - 43 张树林, 田世澄, 陈建渝. 断裂构造与成藏动力系统[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(4): 261~ 266
 - 44 张树林, 田世澄, 朱水安, 等. 南堡凹陷的断裂构造与油气三次运移[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(4): 262~ 267
 - 45 张功成, 朱伟林, 邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 14~ 18
 - 46 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 19~ 25
 - 47 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造[J]. *中国海上油气(地质)*, 1998, 12(5): 289~ 294
 - 48 龚再生, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 1~ 7

(上接第125页)

- 20 邓起东. 中国新构造和活动构造研究的新进展[A]. 见: 陈毓川主编. 中国地质学会80周年学术文集[C]. 北京: 地质出版社, 2002. 212~ 221
- 21 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(B04): 12~ 20
- 22 梁狄刚. 塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾[J]. *勘探家: 石油与天然气*, 1999, 4(3): 57~ 62
- 23 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 110~ 116
- 24 Mitchell A H G, Hernandez F, Dela C A P. Cenozoic evolution of Philippine archipelago[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1986, 1: 3~ 22