

琼东南盆地长昌凹陷三维地震区 中新统微观构造成因探讨

于俊峰

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

摘要 基于高精度三维地震资料的精细解释和方差体顺层切片技术,在琼东南盆地长昌凹陷中新统首次发现高密度小断裂,它们近SN走向,断距6~28m,长0.5~4km,倾角约60°。这些小断裂既不是渐新统继承性断裂,也不是近期热点讨论的多边形断层,而是在中新世特定地质条件下由局部引张形成的微观构造。其因为:1)中新世琼东南盆地处于拗陷阶段,仅控盆断层有微弱活动,长昌凹陷内一般不发育断裂;2)研究区不存在EW向的应力场,无法形成近SN向的微观断裂;3)中新统和渐新统断裂是两套断裂体系,渐新统断裂总体呈NW向,空间分布规律差异较大,主要受控于古近纪构造格局,而中新统小断裂为近SN向,与渐新统断裂无继承性;4)多边形断层往往边数不一,边界形状分布不规则,与中新统规则的SN向小断裂有显著区别。这种高密度小断裂对南海深水油气勘探具有重要意义。

关键词 琼东南盆地;长昌凹陷;中新统;微观构造;构造成因;地震解释

中图分类号:TE111.2

文献标识码:A

1 概况

研究区位于琼东南盆地深水区长昌凹陷内(图1),其所在的构造带是深水凹陷群中唯一的中央背斜构造带,凹陷内油气资源丰富^[1],具有广阔的勘探前景。

研究区T₆₀是破裂不整合面,T₆₀下伏地层为渐新统,T₆₀—T₃₀是中新统(图2)。T₆₀这一不整合面在二维地震剖面上十分清晰,代表了凹陷从断陷向拗陷转化的变革界面,界面之下发育了基底断裂和渐新统断裂体系,构造活动强度大,且断层控制沉积;界面之上断层基本不活动,除了控凹断层,凹陷内不发育断裂系,一般被认为是层序的“稳定”充填期^[2]。

但是,最近的三维资料揭示了研究区浅层中新统发育了大量的SN向小断裂,这些小断裂规模小,密度大,同时还在古近系发现了大量的NW向断裂,也是由于规模小,构造活动不剧烈,只有在高品质的三维资料情况下才能分辨,故称之为“微观构造”。

这些发现打破了以往认为深水区内仅存在NE向断裂和少数的NW向断裂的看法^[3-4]。

本文基于高精度三维地震资料的精细解释和方差体顺层切片技术,以及世界关于多边形断层特征与成因机制的理论,对研究区中新统微观断裂的形态和成因作了分析和探讨。

2 微观构造的3D地震成像

2.1 微观构造发育的基础及资料对比

微观构造发育于长昌凹陷内的背斜(称为“A构造”)上(图1,图3)。该构造呈NW走向,其NE、SW面被断层切割,形成下降盘,而主体构造成了上升盘。构造上部发育流体底辟,一直活动到第四纪。

与三维资料区相比,二维资料对西部的NW向断裂反射并不清楚,利用二维地震资料根本解释不出这些NW向断裂,更识别不出浅层的高密度小断裂及流体底辟(图2),但这些观微观构造在三维资料条件下却相当清晰(图3)。

收稿日期:2010-10-19;改回日期:2010-11-07

课题资助:“十一五”国家重点科技攻关课题(课题编号:2008ZX05023-004)

于俊峰:1978年生,博士,工程师。2002年毕业于中国地质大学(武汉),2007年获中国科学院广州地球化学研究所博士学位。从事盆地构造分析及油气勘探工作。联系地址:524057 广东省湛江市坡头区22号信箱;电话:(0759)3900553

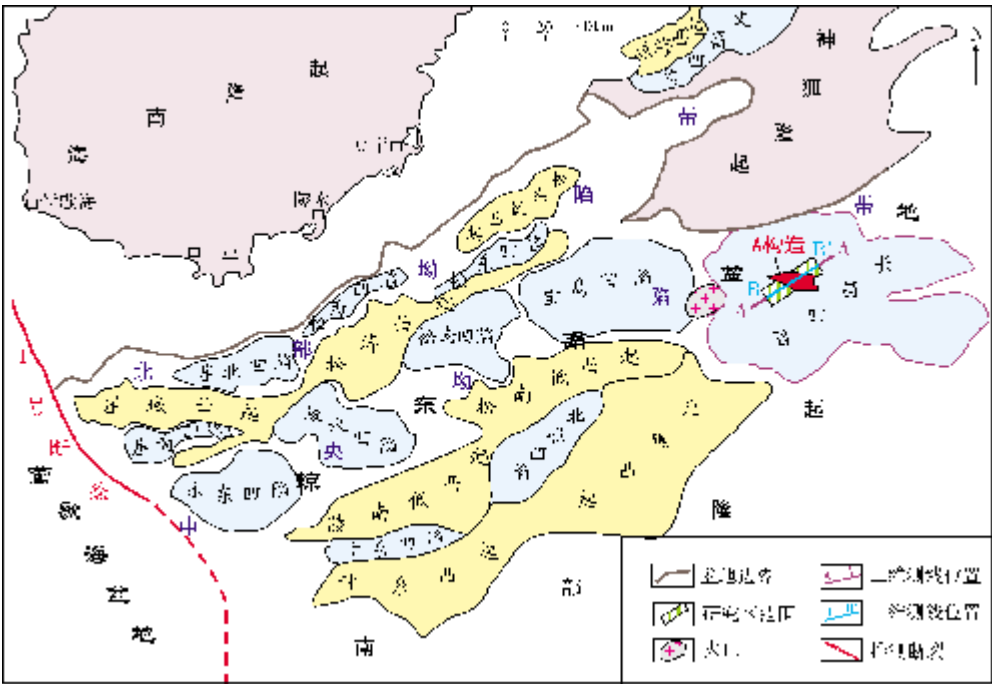


图 1 琼东南盆地构造区划及研究区地理位置图

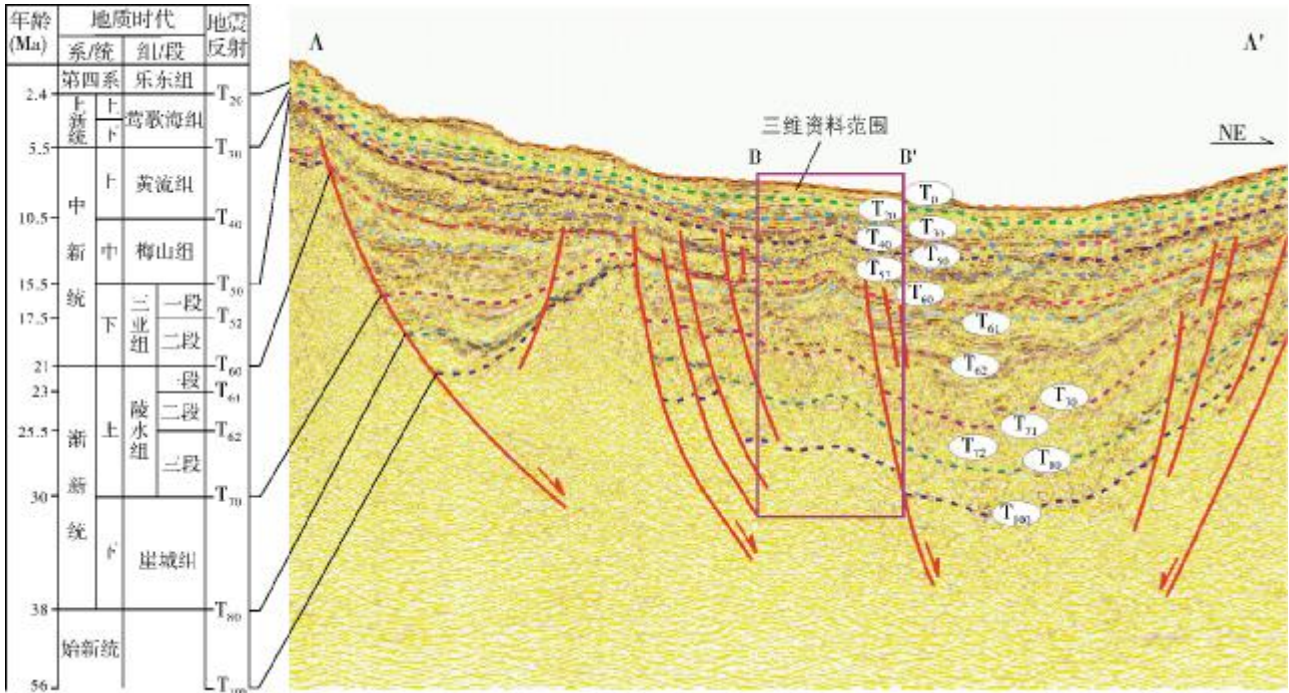


图 2 长昌凹陷研究区 2D 地震反射结构

A—A' 剖面位置见图 1

2.2 渐新统微观构造受控于先存基底格局

2.2.1 微观构造 3D 成像

渐新统是 NW 向构造和流体底辟的高度发育

层(图 4a)。研究区西部清晰可见近平行排列的 NW 向断裂,这些断裂规模相对较小,但基本首尾相接,整体呈现多条小弧形相交切,显示出主断层控制下局部走滑扭动的迹象。

地震资料显示,渐新统层内断裂规模大小不一,发育有早有晚,最晚活动到中新世末(图5a),部分断裂受基底断裂的控制(图5b,5c)。构造东部,一条较大规模的断裂控制了下降盘并发育了帚状断裂体系(图4a)。

2.2.2 微观构造成因

渐新统微观构造受控于基底构造格局。始新世,中央坳陷带还属于南部隆起的一部分,

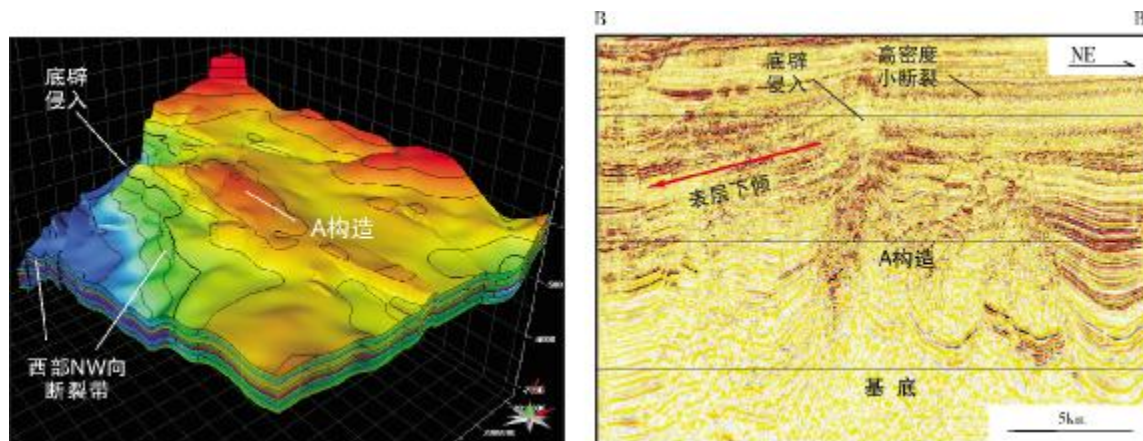


图3 长昌凹陷A构造结构三维显示
B—B'剖面位置见图1

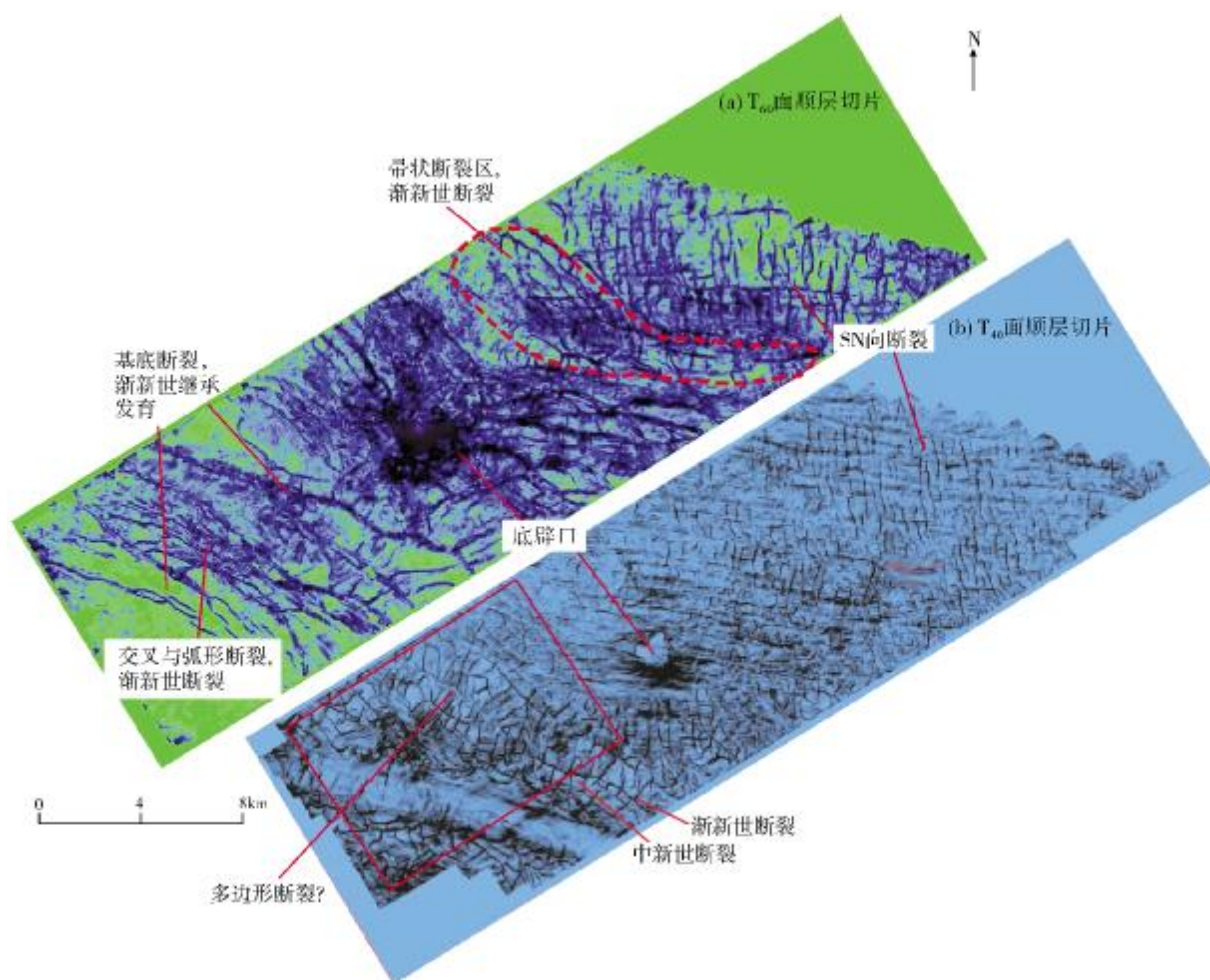


图4 长昌凹陷A构造区 T_{61} 面(渐新统)和 T_{40} 面(中新统)顺层切片

5b), 这些小断裂在南海北部首次发现。它们基本被限制在 T_{60} — T_{40} 地震反射层内(图 5a)。

剖面上(图 5a, 5b), 它们为坡坪式张性正断层, 呈近 SN 向分布, 断距 6~28m, 长 0.5~4km 不等, 倾角约 60° ; 具有分布范围广、规模小、断距明显、产状相近的特点。这些断裂同早期断裂并排发育, 但跟早期断裂没有必然联系, 形成了壮观的大型“排骨状”体系。

切片上, 同渐新世断裂相比, 中新世的断裂体系分布显示出重大变化(图 4b), 表现为 NW 向断裂和底辟区辐射状断裂逐渐消亡萎缩, 但 SN 向小断裂极其发育。研究区西部的 NW 向断裂还依稀可见, 但宽度和规模都有所减小, 其间有诸多 SN 向小断裂发育, 它们相互交切, 呈现出不规则多边形; 中部底辟规模变小, 周围辐射状断裂也消失殆尽; 东部 SN 向小断裂最发育, 弥散于流体底辟以东的整个地区。

微观构造虽然在渐新统仍有局部显示, 但是笔者认为, 这是部分小断裂活动相对强烈、切割了渐新统构造层所致。如渐新统层内切片显示, T_{62} 界面底辟活动强烈, 辐射状断裂发育, 但不发育 SN 向小断裂(图 7a, 7b); T_{61} 界面在东部出现一些 SN 向小断裂(图 7d), 但远不如 T_{60} 和 T_{40} 界面(图 4a, 4b) 发育。这说明, 这些高密度微观构造主要发育于中新统, 之所以渐新统还有所显示, 是因为高密度小断裂的不均匀发育, 部分活动相对强烈的小断裂切割了渐新统构造层所致。

3.2 成因探讨

经研究认为, 上述小断裂既不是渐新统继承性的断裂, 也不是近期学术界热点讨论的多边形断裂, 而是另外存在着其他成因机制。

中新世, 琼东南盆地处于拗陷阶段, 仅控盆断层

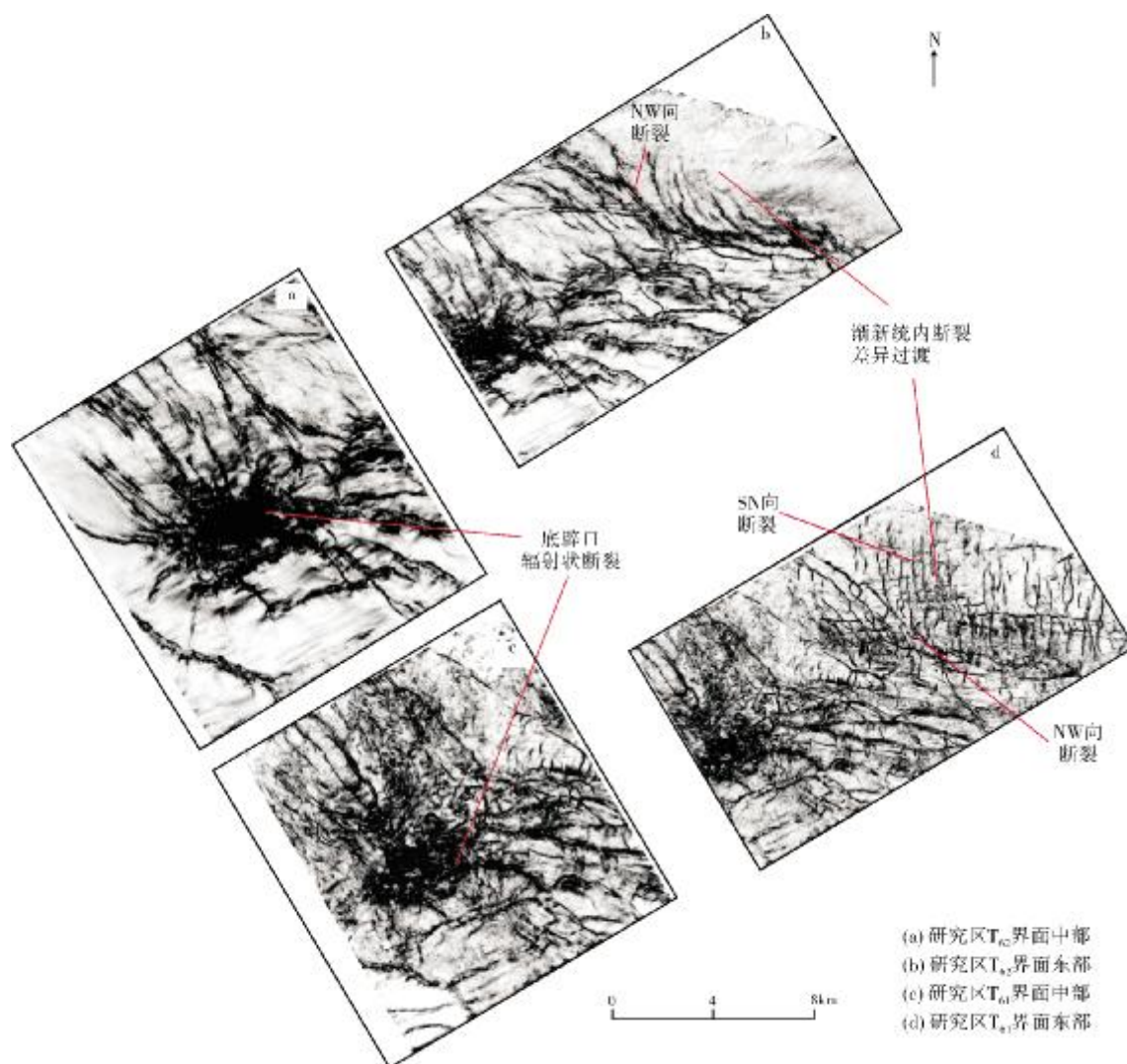


图 7 长昌凹陷研究区 T_{62} 和 T_{61} 界面中部及东部断裂体系分布切片

有微弱活动,凹陷内一般不发育断裂,故更难以形成高密度的断裂体系。同时,研究区也不存在EW向的应力场,所以无法形成近SN向的微观断裂。从两套断裂走向分析,渐新统断裂总体呈NW向,中新统小断裂为近SN向,空间分布规律差异较大,因此,中新统小断裂与渐新统断裂也无继承性。

另一方面,研究区的高密度小断裂同琼东南盆地南部^[2]、刚果盆地^[6]、挪威海岸^[7]等地的多边形断裂存在较大差异。

对照吴时国等^[2]对世界多个盆地多边形断裂的总结和对琼东南盆地的认识,本文认为,在本研究区发育的并不是多边形断裂。

首先,它们发育的时代不同,琼东南盆地南部的多边形断裂发育在 T_{40} 上下140ms的泥岩层,其中多数分布在 T_{40} — T_{30} 的中新统黄流组层内;而研究区的高密度小断裂却主要发育在 T_{60} — T_{40} 的中新统

三亚组和梅山组之间(图5a),其间含有多套厚层砂岩,小断裂在黄流组却不发育。

其次,发育条件不同,琼东南盆地南部多边形断裂发育于泥岩层,而本研究区高密度断裂三亚组和梅山组均存在多套砂岩,属于砂岩泥岩互层沉积结构。

再次,多边形断层围限的区域呈不规则多边形或圆形,而本区微观构造平面上是清晰的SN向小断裂。

最后,它们的存在形式不同(图8),多边形断裂在剖面上断层掉向不一,平面上相互交错,曲直相间,这与本区的东掉向、近SN向规则分布的小断裂迥然不同。研究区西部 T_{40} 界面展现出了类似多边形断裂的特征,但这里的“多边形”断裂是由晚期小断裂跟早期断裂交切而成,并不是同层脱水收缩成因的多边形断裂(图4b)。

笔者认为,表层蠕动、含水层压实排水、矿物化学反应脱水收缩、重力垮塌、不稳定破裂等机理都无

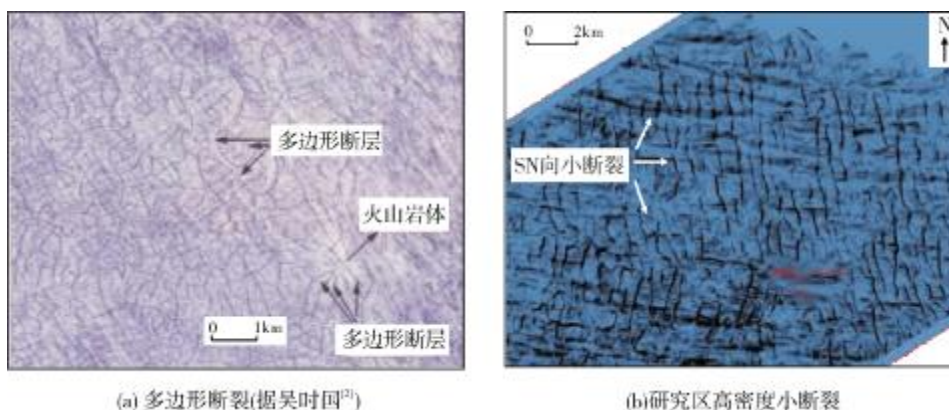


图8 长昌凹陷研究区高密度小断裂同多边形断裂成像对比

法解释本区微观构造的成因,因为这些诱导因素引起的构造面均无变形规律,单个多边形往往不规则、多边形顶部呈龟背式等^[28]。这样的微观构造一般容易发育在具有一定坡度、沉积层脆性—半脆性、横向厚度突变、有局部引张力的条件下。而且,引张作用在东部发生早,西部发生晚,其过程同陆坡表层滑塌相似。从深浅构造层看, T_{62} 界面SN向小断裂并不发育(图7b), T_{61} 界面只在研究区东部发育,它们之间具有一定的过渡差异(图7d); T_{60} 界面相对较发育,分布范围也向西变广; T_{40} 界面则向西扩散到整个研究区,即东部发育早,西部发育晚(图4a,4b)。

中新世后,中央坳陷带沉降速率加快,长昌凹陷以研究区为界,西部沉降速率达180m/Ma,略快于东部的150m/Ma,凹陷差异沉降致使构造顶部沉积

表层向西下倾(图3),并引起中新统受到局部引张作用。由于研究区位于中央背斜构造上,基底埋藏浅,硬度大,因此浅层沉积物压实排水较强,加之中新统中、下部地层纵向泥岩和砂岩互层,横向物性分布均匀,故处于半脆性状态,因此在较弱的西向局部引张力下,容易产生高密度均匀分布的微断裂。

但是,这些都还不足以完全说明本研究区高密度小断裂的形成机理,因为目前还无法解释向浅层高密度小断裂分布范围向西逐渐变大的原因,以及这与砂泥层物性结构、引张力的多少、引张方式的关系等。

4 深水油气勘探意义

高密度小断裂虽然在成因上与多边形断裂大相径庭,但它们对油气运聚成藏却具有相似的意义^[9]。

神狐隆起区的 BD19-2-1、CC12-1-1 等井均证实中新统三亚组—梅山组具有良好的储盖组合,但在半深海—深海沉积环境下,这些储层的砂质粒度偏细,而且横向连通性差,给油气疏导带来极大困难。凹陷内出现高密度的 SN 向小断裂,它们首尾相接,使致密的含砂层破碎化,进而相当于高孔隙度的储层,极大地促进了流体运移成藏。另一方面,部分小断裂可以向上延伸到更浅层,由于中新统黄流组以上地层以泥岩为主,而且裂缝极少,深源天然气难以渗入浅层,所以这些小断裂可以成为天然气向更浅部运移的通道,促进天然气水合物在浅层成藏。

5 结 论

(1)在长昌凹陷中新统发现 SN 向高密度小断裂。这些微观构造在南海深水凹陷为首次发现。

(2)高密度小断裂主要发育于早—中中新统,断距 6~28 m,长 0.5~4 km 不等,倾角约 60°,具有分布范围广、规模小、断距明显、产状相近的特点。

(3)这些小断裂既不是古近纪继承性断裂,又不是近期热点讨论的多边形断层,而是中新世特定地质条件下由局部引张作用形成的微观构造。

(4)高密度小断裂可以使致密的含砂层破碎化,形成高孔隙储层,极大地促进了流体运移聚集。同

时,部分小断裂可以切穿黄流组致密层,向上延伸到更浅层,促进天然气水合物在浅层成藏。

参 考 文 献

- [1] 陶维祥,赵志刚,何仕斌,等. 南海北部深水西区石油地质特征及勘探前景[J]. 地球学报, 2005, 26(4): 359-364.
- [2] 吴时国,孙启良,吴拓宇,等. 琼东南盆地深水多边形断层的发现及其油气意义[J]. 石油学报, 2009, 30(1): 22-26.
- [3] 李绪宣,钟志洪,董伟良. 琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及其动力学机制[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 713-721.
- [4] 于俊峰,段如泰. 琼东南盆地 2 号断裂东带发育特征及形成机理[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 293-299.
- [5] 周心怀,余一欣,汤良杰,等. 渤海地区底辟构造及其油气地质意义[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 518-521.
- [6] Gay A, Lopez M, Cochonat P, et al. Evidences of early to late fluid migration from an upper Miocene turbiditic channel revealed by 3D seismic coupled to geochemical sampling within sea floor pock marks, Lower Congo Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(3): 387-399.
- [7] Hustoft S, Mienert J, Bünz S, et al. High resolution 3D-seismic data indicate focused fluid migration pathways above polygonal fault systems of the mid-Norwegian margin[J]. Marine Geology, 2007, 245(1/4): 89-106.
- [8] Bull S, Cartwright J, Huuse M. A subsurface evacuation model for submarine slope failure[J]. Basin Research, 2009, 21: 433-443.
- [9] Lonergan L, Cartwright J, Jolly R. The geometry of polygonal fault systems in Tertiary mud rocks of the North Sea[J]. Journal of Structural Geology, 1998, 20(5): 529-548.

编辑:赵国宪

Genesis of Miocene Microtectonics in 3-Dimensional Seismic Block in Changchang Depression, Qiongdongnan Basin

Yu Junfeng

Abstract: By means of detailed interpretation and variance cube surface slice technology of high frequency 3-dimensional seismic data, a great denseness of microfaults are firstly discovered in Miocene strata in Changchang Depression, Qiongdongnan Basin. They are approximately in SN direction, cut off 6~28m and 0.5~4km long with about 60° obliquity. It is indicated that these microfault systems neither have a consequential relationship with early faults nor polygonal faults that recently discussed on so they were formed by local extension in special geological conditions during Mesozoic period. The genesis of them is summarized in four aspects: 1) During Miocene, Qiongdongnan Basin had entranced postrift stage and Changchang Depression developed with no faults except for basin-controlled faults. 2) SN-directional microfaults would not develop in the depression because there is not EW-directional stress in this region. 3) The Oligocene faults and Miocene faults are two sets of fault systems because the Oligocene faults are in NW direction and have great difference in spatial distribution, which are dominantly controlled by Paleocene structural patterns that, while the Miocene microfaults are in SN direction and have no relationship with the Oligocene fault system. 4) Polygonal faults are commonly with diverse boundary numbers and anomalous boundary shapes, which are greatly different with Miocene SN-directional faults. It is believed that the existence of these high dense microfaults is most significant to oil and gas exploration in deep water.

Key words: Miocene; Microfaults; Genesis of structure; Seismic interpretation; Changchang Depression, Qiongdongnan Basin
Yu Junfeng: male, Doctor, Engineer. Add: CNOOC Zhanjiang Branch Cop., Box 22, Potou, Zhanjiang, Guangdong, 524057 China