

文章编号:0253-9985(2010)01-0114-05

双逆冲断层间的构造样式 ——以柴达木盆地跃进二号—跃东地区为例

王信国¹,王 濮²,何建坤¹,李东安³

(1. 中国科学院 青藏高原研究所,北京 100085; 2. 中国石油天然气股份有限公司 煤层气有限责任公司,北京 100028; 3. 中国地质大学 资源学院,湖北 武汉 430074)

摘要:单逆冲断裂带两侧的构造样式已经有了充分的研究,但双逆冲断层间的构造样式却少有详细的论述。基于实际三维地震资料解释和有限元应力场模拟,通过对三维断层组合和有限元模型应力、应变分布特征分析,发现双逆冲断层间存在近直立走滑断层,且走滑断层两侧地层产状相反。这对研究复杂构造交汇部位的构造样式和矿产资源勘查有指导意义。

关键词:双逆冲断层;构造样式;走滑断层;柴达木盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

A study of structure styles between double thrust faults —taking the area between Yuejin-2 and Yuedong thrust faults in the Qaidam Basin as an example

Wang Xinguo¹, Wang Pu², He Jiankun¹, and Li Dongan³

(1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. PetroChina Coalbed Methane Company Limited, Beijing 100028, China; 3. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 100083, China)

Abstract: The structure styles on both sides of a single thrust fault have been thoroughly probed. Nevertheless, detailed investigation into that between double thrust faults is still rare. Based on 3-D seismic data interpretation and stress field simulation with finite element, the paper analyzes the 3-D fault combination and the distribution features of stress and strain of the finite element simulation, recognize the existence of nearly vertical strike-slip faults with opposite occurrence of formations at their two sides. The study may be used to guide the research of structure style of complicate structural intersections as well as mineral resource exploration.

Keywords: double thrust fault, structure style, strike-slip fault, Qaidam Basin

柴达木盆地位于青藏高原北部,西北邻阿尔金山,东北止祁连山,南抵昆仑山,东以秦岭为界,是我国西部一个大型的中新生代盆地。跃进二号—跃东地区位于柴达木盆地西部坳陷,隶属于昆北断阶亚区尕斯断陷带,是盆地西部重要油产区(图1)。由于受印度板块和亚欧板块碰撞的作用和阿尔金走滑断裂带以及东昆仑走滑断裂带的影响,研究区内构造变形非常复杂,主要受阿拉尔断裂、Ⅶ断裂和跃东断裂3条逆冲断层控制,三者之间的构造组合关系尤其是Ⅶ断裂和跃东断裂之

间构造变形特征的认识一直存在争议。

根据2005年新采集的高分辨率地震资料,经过精细的三维地震资料叠前深度偏移处理和构造解释,发现在Ⅶ断层和跃东断裂之间地层产状呈“屋脊”状,其间发育近直立的断层。由于不同于经典的逆冲断层构造样式(铲式逆冲构造、叠瓦状逆冲构造、坡坪式逆冲断层和双重逆冲构造等)^[1~6],这种构造组合发育于双逆冲断层之间,其构造特征迄今还没有人详细讨论。在最新地震资料处理和解释的基础上,结合钻井证实的地层

收稿日期:2009-10-29。

第一作者简介:王信国(1979—),男,博士、助理研究员,盆地模拟。

基金项目:国家自然科学基金项目“青藏高原大型走滑断裂应变分异的动力学研究”(40774050)。

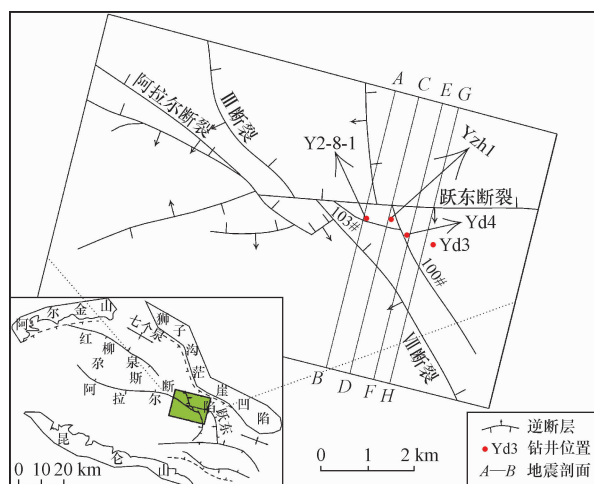


图1 跃进二号—跃东区域位置与断裂纲要

Fig. 1 Location and outline of the Yuejing-2 and Yuedong faults

和断层组合特征,给出这种双逆冲断层的构造样式,并通过有限元模拟对其进行验证,希望对逆冲断层构造组合的研究和复杂构造油气勘探开发提供有益的帮助。

1 研究区断裂构造特征

南部受印度板块和亚欧板块碰撞产生的向北挤压应力,北部受祁连山对柴达木盆地向南推挤作用,西部和东南部受阿尔金走滑断裂带和东昆仑走滑断裂带作用,研究区内主要发育阿拉尔断裂带、Ⅶ断裂带和跃东断层3条逆冲断层以及相关的次级断层(图1)。

阿拉尔断裂是一条近NW-SE向的断裂,断面SW倾的高陡倾角逆断裂,是一长期持续活动的断裂,其断距在平面上呈有规律变化,垂直断距和水平断距自西向东由大变小,断距160~1600 m;Ⅶ断层是研究区另一条重要的大断层,走向近NNW向,断面NW倾的高陡倾角逆断裂,也是一长期持续活动的断裂,向北延伸被跃东断层所截,断距40~1600 m;跃东断层是一条近EW向的断层,前人曾把跃东断层和阿拉尔断层合称阿拉尔断层,跃东断层的断面形态、特征和阿拉尔断层相似,但其活动强度较阿拉尔断层弱,断距20~1000 m。跃东和Ⅶ断层与阿拉尔断裂构成一套左旋走滑性质的构造,受这些逆冲断层的影响,在构造的主体部位次一级断层非常发育。在跃东和Ⅶ断层之间的深部地区发育有两条近直立的走滑

断层,其中一条和跃东断层近平行,另一条和Ⅶ断层近平行。这两条断层不仅起到了调节双逆冲断层(跃东和Ⅶ断层)的作用,也改变了跃东地区中、深部的构造特征。

2 典型地震剖面构造解析

经过Y2-8-1, Yzh1, Yd4和Yd3井的主测线AB、CD、EF和GH的地震剖面清晰的展示了跃进二号—跃东地区的构造组合特征。主测线AB、CD、EF和GH的地震剖面都受Ⅶ断层和跃东断层双逆冲断层的影响,垂向上从上到下发育3套构造层,钻井证实3套构造层之间存在部分地层重复。Ⅶ断层上盘为第一套构造层,称为跃进二号东高点;Ⅶ断层下盘和跃东断层上盘之间为第二套构造层,称为跃东构造;跃东断层下盘为第三套构造层,称为跃中构造。这3套地层产状和构造组合特征各不相同,跃进二号东高点构造较为破碎,类似经典的断展褶皱;跃东构造受双逆冲断层的控制而更复杂,地层逆冲并呈“屋脊”状,其间发育近直立的走滑断层;跃中构造是产状较平缓的负向单元,构造组合相对简单。

叠前深度偏移成像处理后,Ⅶ断层下盘和跃东断层上盘之间不仅存在断层牵引现象,而且通过三维断层组合,发现数条近直立的走滑断层,其特征表现为:在主测线AB和CD剖面2000 ms左右,Ⅶ断层下盘和跃东断层上盘之间发育近直立的103#断层,以103#断层为中心,断层左侧的波组特征从高到低发育,倾角较缓,左倾约15°;断层右侧的波组特征也从高到低发育,倾角较陡,右倾约30°发育。在主测线EF和GH剖面2000 ms左右,Ⅶ断层下盘和跃东断层上盘之间发育近直立的100#断层,以100#断层为中心,断层两侧的波组特征都是从高到低发育,倾角较缓,约10°,呈现弱对称特征(图2,图3)。走滑断层两侧钻井证实部分地层重复,并且油气测试层多且活跃。

3 双逆冲断层构造样式

构造样式^[7,8]是指一组相关构造的总体特征,这些特征可以与其他地区或不同时代的另一组相关构造进行区别和比较。油区构造样式是指含油气地区具有相同或相近成因和形态特征的地质构

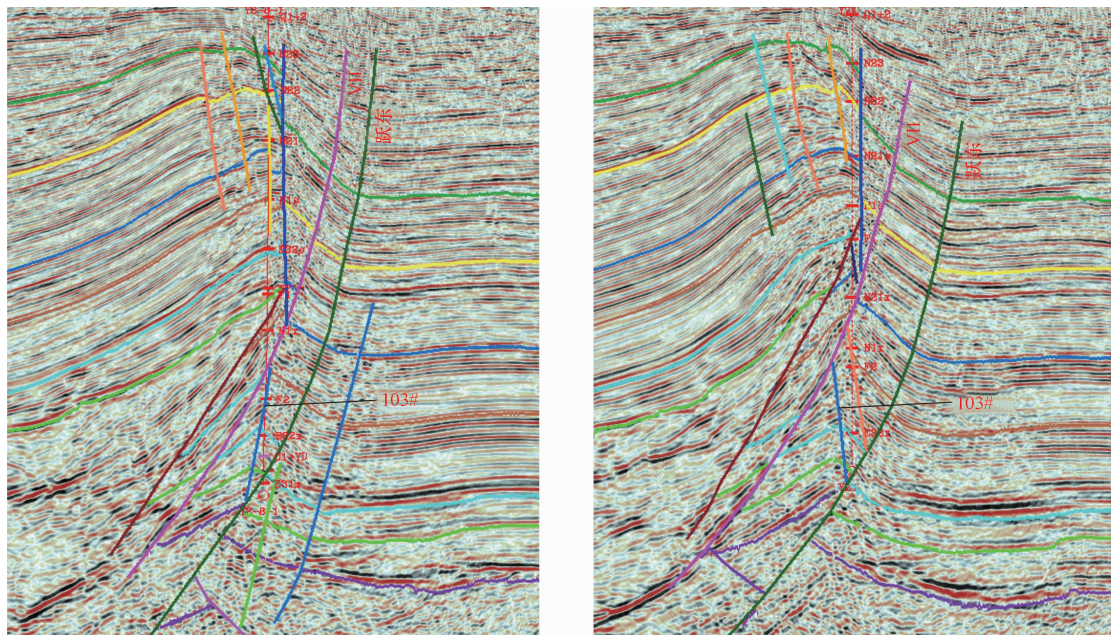


图 2 AB 和 CD 过井地震剖面

Fig. 2 Seismic line AB and CD tied to wells

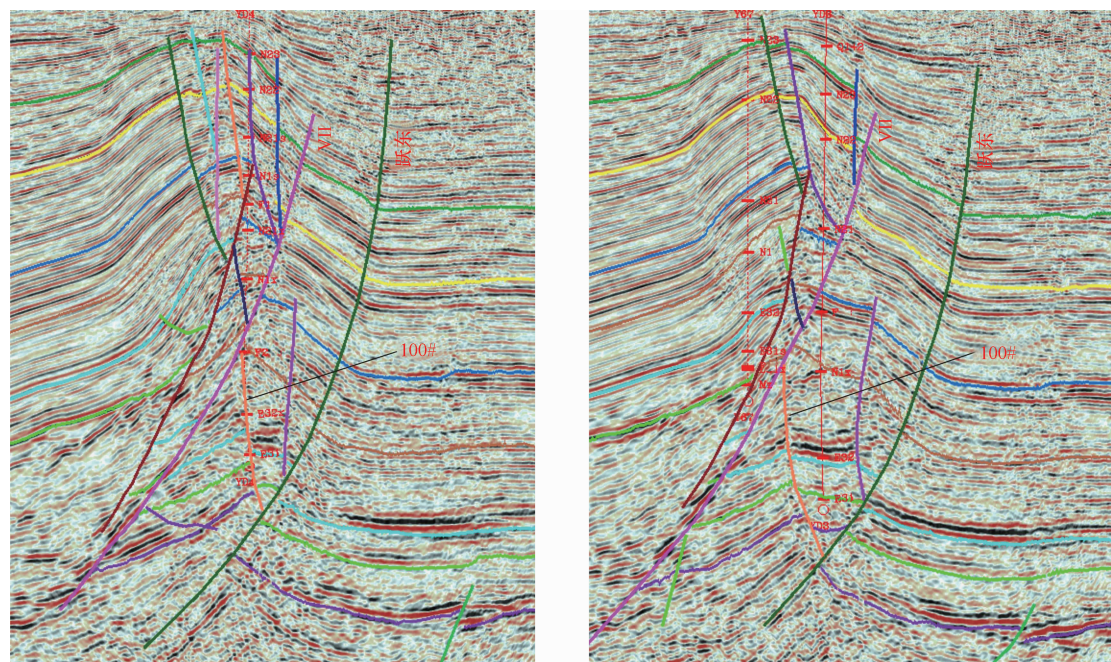


图 3 EF 和 GH 过井地震剖面

Fig. 3 Seismic line EF and GH tied to wells

造组合,它们在类似的变形条件下会重复出现。在油气勘探中,构造样式研究是为了预测油气圈闭类型,同时为解释地震资料提供合理的地质模型。

构造样式分析主要针对油区构造的几何学、运动学、动力学和形成时间,特别是指几何形态的研究。前人对柴达木盆地构造样式^[9~11]已经展开

研究,提出了多种类型的构造样式,但对双逆冲断层间构造样式研究较少。根据研究区典型地震剖面分析,提出双逆冲断层间存在近直立走滑断层的构造样式模式图(图 4),图 4a 为跃进地区双逆冲构造模式图,图 4b 为一般的双逆冲断层的构造样式模式图。

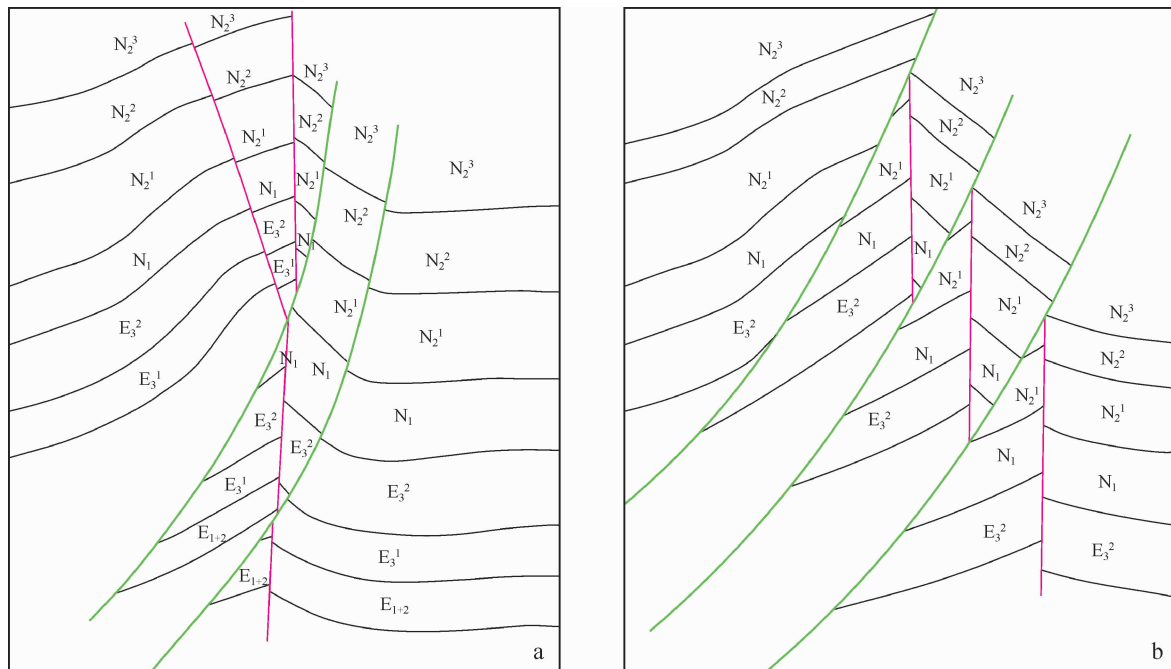


图 4 双逆冲断层间的构造模式

Fig. 4 Structural styles between double thrust faults

4 典型构造形成机制有限元模拟

4.1 模型的建立

根据跃东地区深部发育近直立断层的构造特征,建立 2D 模型。模型位置和主测线的走向相似,垂直于Ⅶ和跃东断层,水平方向为 240 km,垂向上深度为 40 km,上地壳 20 km 和中地壳 20 km^[12,13],上地壳流变学特征采用弹性(D-P 准则),中地壳流变学特征采用粘弹塑性(麦克斯韦准则),下地壳的流变学特征随温度而变化,地温梯度为 25℃/km。模型左右边界施加对等的位移边界 1.2 mm/y,模型上边界为自由边界,考虑地壳均衡,底界为静水压力边界。断层以库仑摩擦准则按接触问题处理,断层内摩擦角 30°。采用 ADELI 有限元软件进行模拟^[14]。

4.2 模拟结果

模拟结果表明(图 5,图 6),对一个包含两条逆冲断层的垂向 2D 剖面左右两侧施加相等的位移边界,在合适的岩石参数和温度条件下,在两条断层的外侧可以看到应力和应变呈层性而且大小也有规律性:在左断层的左侧应力较大部位主要

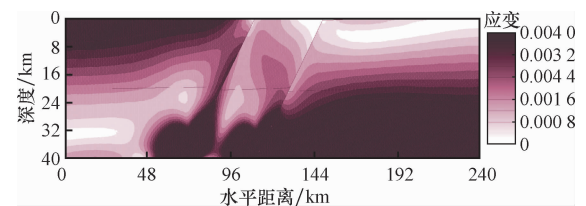


图 5 应变在剖面上的分布

Fig. 5 Sectional view of strain

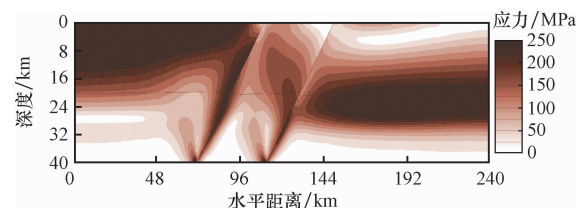


图 6 应力在剖面上的分布

Fig. 6 Sectional view of stress

集中在浅部,而在右断层的右侧应力较大部分主要集中在剖面的中部。

在两条先存断层之间发生复杂应力、应变变化。应力和应变变化的特征具有相似性,都是由两条先存断层呈某一角度向两条断层中间爬升,形成“屋脊”状相对特征,在“屋脊”的中心部位应力和应变变化强烈,可能发育近直立断层。

应变结果(图5):在断层上盘远端、两条断之间的下部和断层下盘的远端应变比较集中;在两条断层之间应变呈“屋脊”状相对分布,在深部应变较小;断层下盘靠近断层的部分应变由近水平向近垂向发生变化;靠近断层上盘应变也发生近垂向的变化。

应力结果(图6):应力呈躺椅状从左到右从上到下分布在模型的中部;在两条断层之间应力相对变小并发生突变,而且呈现相对分布;靠近左边断层的上部应力相对较强;靠近右边断层的下部应力相对较弱;在浅部和深部应力小变化也较小。

5 讨论

经典逆冲断层构造样式(铲式逆冲构造、叠瓦状逆冲构造、坡坪式逆冲断层和双重逆冲构造等)的研究解决了整个逆冲构造系统沿单个先存断层发育的模式:即在单侧挤压或者双侧挤压的情况下,沿已存逆冲断层的上盘依次发育新的逆冲断层的后展式或者沿已存逆冲断层的下盘依次发育新的逆冲断层的前展式以及已存逆冲断层在爬升断坡过程中如何形成不同的逆冲断层和褶皱组合形态^[1~6]。对逆冲断层形成的力学机制研究也是主要集中在断裂力学和单逆冲断层^[15,16]。

在跃进二号—跃东地区发现Ⅶ断层和跃东断层逆冲断层之间发育近直立走滑断层的情况,经常被解释为断层牵引作用而忽略了走滑断层的存在。针对近直立断层的存在性,本文用一个简单的2D有限元模型来验证。虽然本次模拟只考虑了正交挤压的特殊情况,但是,如果把应力的分布特征看作地层的特征来说,模拟的应力结果和实际发育的地层特征很相似。虽然模拟结果和实际地震资料相比仍有不足之处,这是由于跃进二号—跃东地区不仅受到南北向的挤压还受到阿尔金走滑断裂带和东昆仑走滑断裂带的侧向作用,其受力的情况非常特殊,其自然界的构造特征会更加复杂。总的来说,通过模拟可以证实在两条先存断层的情况下,如果受到挤压应力场作用,在两条断层的中间可以形成近直立的断层,断层两侧的产状相对。

6 结论

通过对跃进二号—跃东地区过井地震剖面的精细解译和2D模型的有限元模拟,确认在双逆冲断层之间不仅存在断层牵引现象,还发育有近直立的走滑断层,走滑断层两侧地层产状相对。这对于逆冲断层的研究和复杂构造地区的油气勘探开发具有很好借鉴作用。

参 考 文 献

- Suppe J. Geometry and kinematics of fault bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 238: 648-721
- Suppe J, Medwedeff D A. Geometry and kinematics of fault propagation folding [J]. Ecolgae Geologicae Helvetiae, 1990, 83: 409-454
- Narr W, Suppe J. Kinematics of basement-involved compressive structures[J]. American Journal of Science, 1994, 294: 802-860
- Mitra S, Mount V. Foreland basement-involved structures[J]. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 1998, 82: 70-109
- Wallace W K, Homza T X. Detachment folds versus fault propagation folds, and their truncation by thrust faults[A]. Thrust tectonics and hydrocarbon systems[C]. AAPG Memoir, 2004, 82: 324-355
- 何登发, 贾承造, 周新源, 等. 多旋回叠合盆地构造控油原理[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 1-9
- 方向, 江波, 张永庶. 柴达木盆地西部地区断裂构造与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 56-61
- 王燮培, 严俊君. 含油气盆地构造样式研究中几个问题的讨论[J]. 地质科技情报, 1996, 15(4): 51-56
- 张明利, 金之钧, 万天丰, 等. 柴达木盆地应力场特征与油气运聚关系[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 674-679
- 倪金龙, 王鹏, 杜小亮, 等. 柴达木盆地西南部新生代构造样式及其动力学特征[J]. 油气与地质采收率, 2009, 16(1): 9-12
- 毛治国, 胡望水, 余忠祥, 等. 柴达木盆地西部构造样式及叠合关系[J]. 海洋石油, 2005, 25(1): 17-21
- 罗群. 柴达木盆地成因类型探讨[J]. 石油实验地质, 2008, 30(2): 115-120
- 肖安成, 杨树锋, 程晓敢, 等. 柴达木盆地北缘的右行走滑冲断系统及其动力学[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 482-487, 494
- He Jiankun, Chéry J. Slip rates of the Altyn Tagh, Kunlun and Karakorum faults (Tibet) from 3D mechanical modeling [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008, 274: 50-58
- 宋惠珍, 曾海容, Heliot D, 等. 逆冲断层应力场的数值模拟[J]. 地震地质, 1999, 21(3): 275-286
- 马润勇, 彭建兵, 门玉明, 等. 逆冲断层发育的力学机制研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2003, 33(2): 196-199

(编辑 董立)