

塔里木盆地玉北1井背斜带变形特征与形成机制

云金表,周波,王书荣

(中国石化石油勘探开发研究院,北京,100083)

摘要:塔里木盆地玉北1井构造带形成过程与变形机制的解析,是揭示该带碳酸盐岩储层发育与展布规律的重要环节。断层及背斜轴面分析表明,该带发育两种类型构造。一种是贯穿南北的正花状构造;另一种上下构造层构造形态差异明显。上部为对称背斜,受高角度走滑断层控制;下部为不对称背斜,受沿寒武系膏盐层发育的逆冲断层控制。研究表明,玉北1井构造带定型期为中加里东期,此后至少叠加了晚加里东期与海西晚期两次区域变形。构造带沿走向主干断层倾向发生变化,自北向南由逆冲向走滑构造转变。在两条主干断层交汇部位背斜最发育,其核部有寒武系膏泥岩的汇聚,形成了剪切-挤压背斜转折背斜。由此推断,构造带奥陶系碳酸盐岩层系不仅存在加里东期、晚海西期两期隆升剥蚀,而且在剪切-挤压背斜顶部、层间发育的高角度、低角度裂缝都为岩溶的形成提供了有利条件。

关键词:形成机制;构造样式;储层类型;玉北1井;塔里木盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Deformation characteristics and forming mechanism of the Well Yubei 1 anticline belt in the Tarim Basin

Yun Jinbiao, Zhou bo, Wang Shurong

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Interpretation of the development process and forming mechanism of Well Yubei 1 anticline belt in the Tarim Basin is an important part of study to map the carbonate reservoirs. Analysis of faults and axial planes of the anticlines reveals that two structural styles occur in the study area. One is positive flower structure which runs through the anticline belt in N-S direction. The other one shows significant difference in structural style between upper and lower structural layers. The upper layer is a symmetry anticline and is controlled by a high angle strike slip fault. The lower layer is a dissymmetry anticline and is controlled by a thrust fault developed along the Cambrian gypsiferous mudstone layer. Well Yubei 1 anticline belt was finalized in the mid-Caledonian period, and experienced at least two regional deformations in the late-Caledonian and late-Hercynian. However, the anticline belt changes along the inclination of the anticline, and is converted from a thrust structure to a strike-slip structure in N-S direction. The anticlines are most highly developed at the intersection of two main faults. The Cambrian gypsiferous mudstone was deposited at its core, resulting in a shear-compression anticline. On this basis, we believe that the Ordovician carbonate sequence not only experienced two stages of uplifting and erosion in the Caledonian and early Hercynian and the high angle and low angle fractures developed in the anticlines formed by shear-compression all which provided good conditions for the karstification.

Key words: forming mechanism, structural style, reservoir type, Well Yubei 1, Tarim Basin

1 构造带发育背景

玉北1井奥陶系石油勘探的突破,揭示了麦盖提斜坡是塔里木盆地又一个具有勘探潜力的区域。玉北1井背斜带属于玛东构造带的一部分,位于塘北构造带南段的西缘(图1)。总体走向北东向,与其他背斜带斜交。

地震剖面显示,玉北地区明显分为3个构造层。古近系以下地层都卷入背斜构造,下构造层由寒武系-奥陶系构成,中构造层由石炭系-二叠系组成,上覆古近系-新近系未变形,但为区域南倾地层。上古生界对下覆地层具有明显削截特点,玉北1井钻探也证实中、上奥陶统-泥盆系缺失,不过在构造带两侧发育一套超覆不整合于中、下奥陶统之上的地层,背斜带外侧的玉北5井和玉北9井钻遇上奥陶统良里塔格组。寒

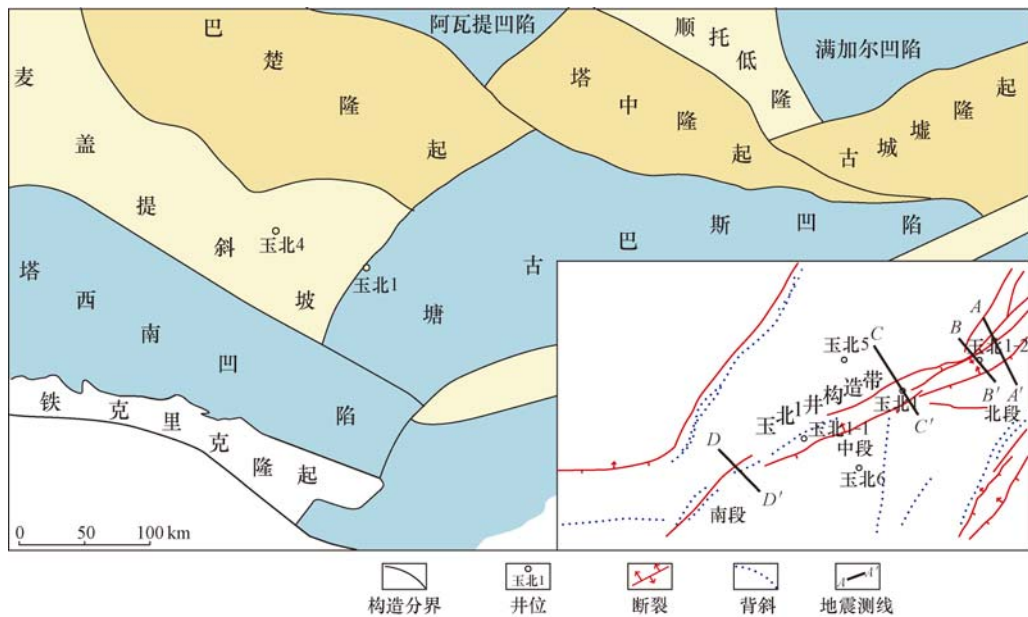


图1 玉北1井背斜带区域构造位置

Fig. 1 Structural location of the Well Yubei 1 structural belt

武系-奥陶系主要为海相碳酸盐岩地层,其中中寒武统发育膏泥岩,由地震反射特征推测厚度为100~300 m之间。石炭系-二叠系也以海相碳酸盐岩地层为主,其上部被古近系削截。区域性缺失三叠系-白垩系。古近系-新近系主要为陆相碎屑岩地层。在石炭系与古近系底部也发育厚度不大的膏盐岩层。

2 构造带样式及其变化

玉北1井背斜带在区内分为3段(图1)。北段为主干断层向东南倾斜控制的逆冲-走滑复合构造带;中段为主干断层向北西倾斜控制的逆冲-走滑复合构造带;南段为花状构造带^[1-2]。

2.1 北段构造样式及其变化

构造带北段自北向南以花状构造为主,逐渐转化为逆冲断层转折背斜为主。其中玉北1-2井以北,构造带中部构造层主要表现为对称膝褶型背斜,西陡东缓。下部构造层西侧为花状构造,东侧为逆冲构造。褶皱轴面分析也显示中部构造层地层倾角较小,下部构造层地层倾角明显增大。自北向南背斜规模越来越大,背斜上下部形态也明显越来越不协调。西侧上下为背形构造,东侧下部构造层褶皱范围明显扩大(图2),上部构造层轴面倾角明显小于下部。从上奥陶统、石炭系底部地层超覆明显,显示构造带具有二次叠加、干涉成因特点^[3-9]。

玉北1-2井及其以南构造样式与北部发生改变,花状构造东支断层消失,取而代之逆冲断层显著增强。

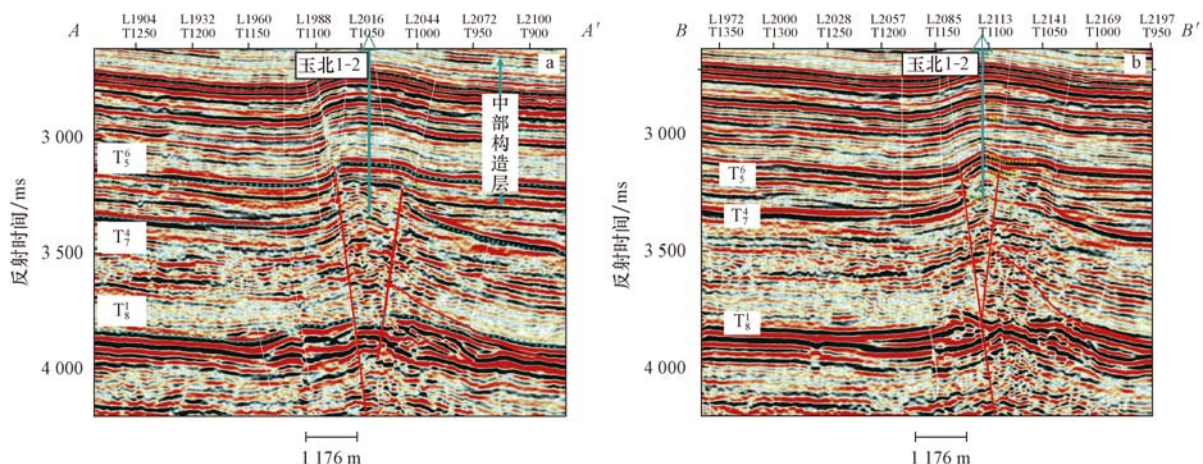


图2 玉北1井构造带北段地震剖面特征

Fig. 2 Seismic profile of the north part of the Well Yubei 1 structural belt

(红线为断层,白线为轴面线,测线位置见图1;T₈¹:中寒武统顶界面;T₇¹:中下寒武统顶界面;T₅¹:石炭系巴楚组顶界面;下同。)

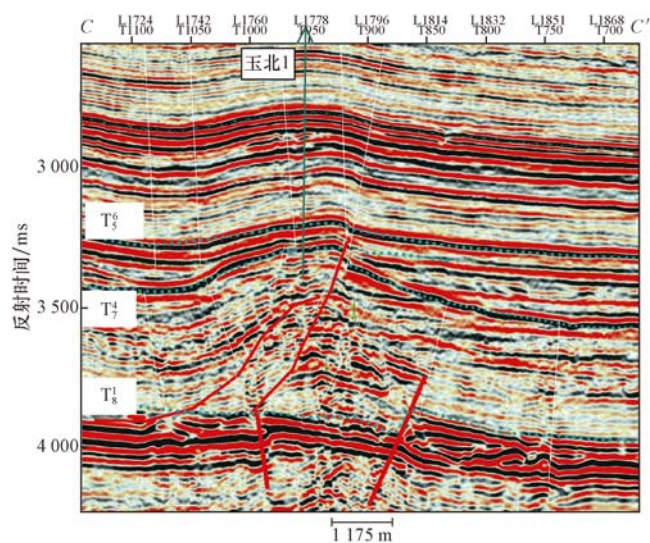


图3 玉北1井构造带中段地震剖面特征

Fig. 3 Seismic profile of the middle part of the Well Yubei 1 structural belt
(测线位置见图1)

中部构造层也由北段对称背斜逐渐转变为西陡东缓的不对称膝褶型背斜,上部背斜带与下部逆冲-褶皱构造形态相似,而且下构造层构造幅度明显大于中构造层。说明本带是两次以上构造挤压扭动的产物。西侧高陡走滑断层仍然是整个构造带的边界。在中、下寒武统及其基底反射表现最为显著,断层下部两侧反射显著不同,西侧地层近于平缓,东侧与逆冲断层之间形成杂乱反射区。由此推断走滑断层在构造的发育过程中始终发挥着控制作用。

2.2 中段构造样式及其变化

构造带中段与北段正好相反,自北向南由逆冲断层转折背斜为主(图3),逐渐转化为花状构造为主,与北段不同是主干走滑断层与逆冲断层向西北倾斜。其次,本段主干走滑断层两侧中、下寒武统反射波组比北段更加明显,充分显示该段基底走滑作用显著。

2.3 南段构造样式及其变化

背斜带南段主要由下部高陡单断层-上部褶皱组成,或下部由两个相反倾向断层组成的花状构造-上部背斜组成。剖面上下部只发育单条高陡单断层,或简单的“Y”字形断裂组合(图4)。断层倾角一般大于70°,在下构造层顶部多数表现为逆断层,顶部的石炭系-二叠系为对称性背斜。此类构造样式主干断层普遍深切基底,断层两侧中、下寒武统及其以下反射波组差异较大。断层西侧中、下寒武统一般为2强3弱反射波组特征,而东侧则发育4强6弱的反射波组,地层厚度存在较大差异(推测200~400m)。轴面分析表明,现今构造带中下部构造层地层倾角几乎一致,而且较窄。表明晚期构造变形对构造形成贡献较大^[10-15]。但构造带东侧下部地层倾角明显较大,而且上奥陶统

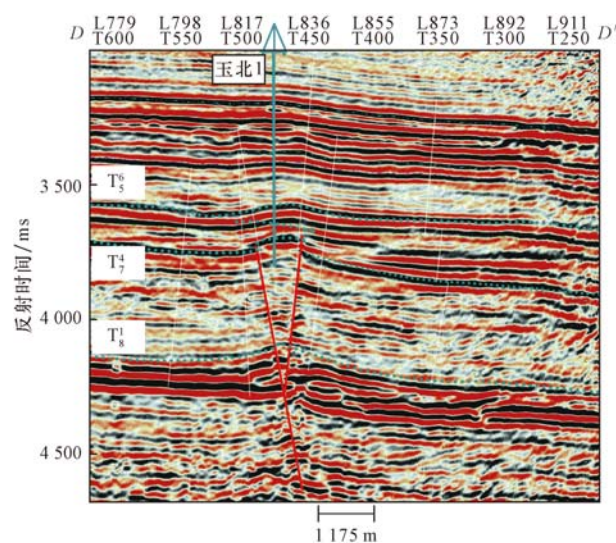


图4 玉北1井构造带南段地震剖面特征

Fig. 4 Seismic profile of the south part of the Well Yubei 1 structural belt
(测线位置见图1)

楔形地层发育,显示玉北1井背斜带南段也是早期与晚期两期构造叠加的产物,但早期构造幅度不大。

综合上述剖面特征及其沿构造带走向变形特征,玉北1井构造带有如下特征:

- 1) 构造带始终由花状构造与逆冲构造共同控制。其中扭动构造对中部构造层背斜幅度的贡献占有绝对优势,背斜带受边界高陡断层控制。逆冲断层则是下部构造层形成的关键,故在逆冲断层发育的玉北1—玉北1-2井之间是下部构造层构造规模最大的区域。
- 2) 逆冲断层始终发育于走滑断层一侧,后者形成了逆冲构造终止的边界。在二者的交汇部位下方,形成了丘形杂乱反射,逆冲断层与其顶面一致。
- 3) 玉北1井背斜带整体为长宽比较大,背斜带与区域地层之间倾角突变。而且控制构造带的主干断层倾角在不同段明显不同,甚至倾向相反。

3 构造带形成机制与演化过程

3.1 主要变形期的确定

从背斜带卷入的地层及其区域地层层序发育特征分析,玉北1井背斜带至少经历了中奥陶世中晚期和晚海西期两次强烈的构造事件。第一次强烈构造运动形成构造带基本轮廓及发育于和田河古隆起和古中央隆起与塘沽巴斯凹陷过渡区的玛东-塘北构造带,为压扭性构造带^[16-17]。玉北1井背斜带是该构造带成员之一。第二次强烈构造运动是构造带变形的定型阶段,也是中部构造层构造发育阶段。

其次,实钻证实背斜带顶部缺失中、上奥陶统-泥盆系,而两侧都发育良里塔格组。由此表明本区也存在晚加里东运动。从塔中低凸起资料分析,本次构造

作用,力源来自东南,故背斜带可能遭受了进一步的挤压改造和隆升剥蚀。

二叠系之上缺失了中生代全部地层,表明自古生代末到中生代时期,背斜带始终处于隆起状态。这一隆起事件的主要构造运动应发生于早二叠世末的晚海西期构造运动。此时是天山洋和塔西南裂陷槽的关闭时间,也是盆地海、陆相转化的时间。新生代以来随着区域南北翘倾,背斜带也随之发生北部抬升。

由此可见,玉北1井构造带共经历了下构造层构造变形、中构造层构造变形叠加和晚期构造差异升降3个发育阶段。主要由中奥陶世中晚期、晚加里东期和晚海西晚期3次构造变形所完成,中中奥陶世中晚期是构造带主要定型期。

3.2 构造带发育控制因素分析

由剖面及沿轴向构造样式分析,玉北1井背斜带是一个走滑与盖层滑脱逆冲断层-褶皱复合构造带。形成这样的构造变形主要受基底结构、变形软弱层和区域受力背景3个因素的控制。

1) 基底的制约

基底发育北东向的薄弱带是本区形成北东向走滑断裂的主要触发因素之一^[17-18]。据盆地航磁 ΔT_a 异常平面等值线分布图,可以看出塔西南坳陷东部北东向磁异常条带十分明显,反映基底存在东西分割、北东向延伸的块体。块体之间的薄弱带为后期北东向走滑断裂的形成奠定了基础。玛东构造带正好处于塔里木中央高磁带南侧塔西南磁异常区与塔南磁异常区的过渡部位,是基底结构差异最大的区域。

2) 变形软弱层的作用

走滑断层的弯曲,或早期膏泥岩的聚集,是形成逆冲断层-褶皱构造的关键因素^[19]。前述地震反射特征表明,玉北1井背斜带下构造层构造规模大的强变形区都与滑脱逆冲相关。而逆断层则是沿中寒武统膏盐层由构造带外侧向高陡走滑断层方向逆冲,二者交汇部位形成丘形杂乱反射的膏盐岩聚集(图2,图3),反映了该带是在区域汇聚扭动,走滑断层在弯曲部位转变成了侧向挤压作用,沿膏盐岩层滑脱逆冲的特点。

3) 区域应力场的影响

应力的传递方向、强度决定玉北1井构造带变形特征的最关键因素之一。由前述可知,本区至少经历了中、晚加里东、晚海西三期强烈变形,和一期向北大规模区域翘倾过程。由区域应力场分析,中奥陶世中晚期的构造运动是一次导致区域格局发生重大转变的构造运动。它形成了塔西南-古中央隆起带及其南北坳陷的盆地现今构造格局,控制了上奥陶统沉积。本带中、下奥陶统与上奥陶统间不整合是此次构造变动反应。从变形强度分析,构造作用力来自东南,形成了以塔西南-古中隆起及

其两侧凹陷的格局。变形较强是塔中与塘北-玛东构造带。本背斜带处于玛东构造带西侧南段,故自南向北有走滑为主,到滑脱逆冲为主的变形特征^[20]。晚奥陶世-志留纪是类似前陆盆地发育过程,构造挤压方向更偏向东南逆冲挤压的趋势更加显著。本背斜带与玛东构造带整体走向斜交,故走滑分量应该更大。晚海西期主要是天山洋、塔西南裂陷闭合对盆地区的影响,应力场以南北挤压为特征,因此玉北1背斜带主要受扭动应力场的作用^[20]。

3.3 构造形成机制与发育过程

综合背斜带特征及其控制因素、形成发育阶段,玉北1井背斜带是在基底先存薄弱带基础上,在中晚加里东期和晚海西期两个阶段3次构造扭动挤压叠加而成^[21-24]。在中晚加里东时期,由于区域挤压应力来自东南方向,首先形成了区域顺扭应力场。同时由于存在中寒武统膏盐岩层,基底扭动在断层发生弯曲区转化为盖层滑脱逆冲与侧向挤压作用,故形成了明显的挤压背斜构造(图5)。早期背斜为剪切-挤压背斜,因此构造顶部是高陡缝发育区,向深部裂缝产状变缓,而且有层间滑动,推断背斜两翼具有形成层间岩溶的条件(图6)。

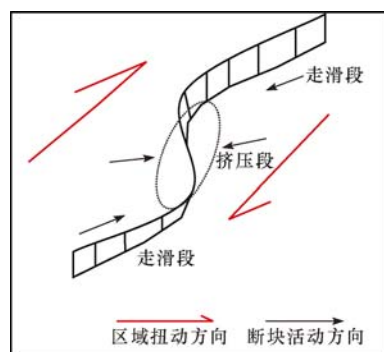


图5 区域汇聚扭动作用下基底走滑断裂变形应力与变形
Fig. 5 Stress and strain of the basement strike-slip fault in the converge-wrench system

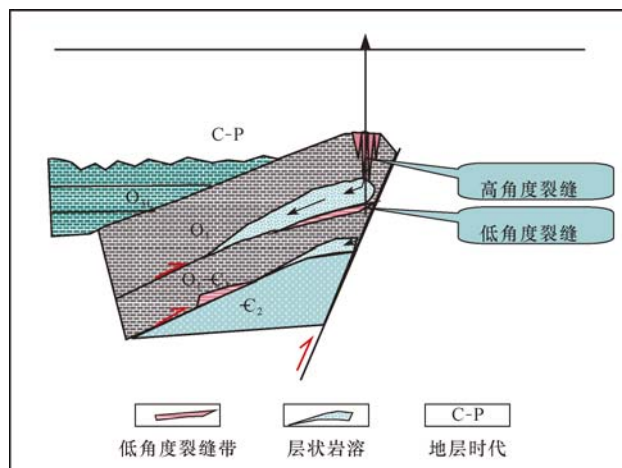


图6 玉北1构造带裂缝及岩溶储层发育模式
Fig. 6 Development model of fractures and karst reservoirs in the Well Yubei 1 structural belt

晚奥陶世开始的晚加里东构造应力进一步向东偏转,挤压进一步明显。但由于应力作用强度的减弱,仅仅表现在构造带的进一步隆升,上奥陶统沉积由东向西超覆于背斜带上,因此背斜带上是中、晚加里东两期不整合面的叠加。一直至早石炭世开始再次埋藏。

轴面分析表明,形成于晚海西期的背斜带中构造层,主要受控制构造带边界的高陡走滑断层的控制,背斜以近于对称的膝褶型背斜为特征。由此表明晚海西期是在区域顺扭应力场作用下的基底断裂进一步走滑过程的产物。同时早期构造形成了阻挡,造成了构造带局部构造的上下叠加。

4 结论

1) 玉北1井背斜带是受区域顺扭作用应力场于中、晚加里东与海西晚期两个阶段3次构造变形形成的产物。基底薄弱带的发育与弯曲、区域方向的偏转与中寒武统膏泥岩的存在,是造成走滑与逆冲交替发育的基础。走滑构造对中部构造层背斜幅度的贡献占有绝对优势,逆冲断层则是下部构造层变形的关键。

2) 背斜卷入地层及其两侧地层接触关系表明,石炭系与中、下奥陶统之间的不整合是中加里东、晚加里东期构造变形叠加产物,构造带外则主要是中加里东不整合区。

3) 由背斜带解剖推断:整个背斜带加里东期的变形带主要发育在北段,特别是玉北1井以北地区;背斜带后期改造集中在南段和背斜带高陡断层一侧;背斜深部收缩大,上部收缩小,显示早期为简单剪切断层转折褶皱,后期为简单剪切断层扩展褶皱。

参 考 文 献

- [1] 夏义平,徐礼贵,刘万辉,等.地震解释及综合研究中几个问题的探讨[J].石油地球物理勘探,2005,40(增刊1):1-5.
Xia Yiping, Xu Ligui, Liu Wanghui, et al. Discussion of some problems between seismic interpretation and reasearch[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(S1): 1-5.
- [2] 何登发,杨庚,管树巍,等.前陆盆地构造建模的原理与基本方法[J].石油勘探与开发,2005,32(3):7-14.
He Dengfa, Yang Geng, Guan Shuwei, et al. Principles and methodology of structural modeling in foreland basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 7-14.
- [3] Dahlstrom C D A. The upper detachment in concentric folding[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1969, 17: 336-344.
- [4] Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 283: 684-721.
- [5] Jamison W R. Geometric analysis of fold development in over-thrust terranes[J]. Journal of Structural Geology, 1989, 9: 207-219.
- [6] Suppe J, Medwedeff D. Geometry and kinematics of fault-propagation folding[J]. Eclogae Geologicae Helveticae, 1990, 83: 409-454.
- [7] Mitra S. Fault-propagation folds: geometry, kinematic evolution, and hydrocarbon traps[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 921-945.
- [8] Dahlstrom C D A. Geometric constraints derived from the law of conservation volumn and applied to evolutionary models for detachment folding[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 336-344.
- [9] Medwedeff D. Geometry and kinematics of an active, laterally propagating wedge thrust, Wheeler Ridge, California[C]//Structural geology of fold and thrust belts. Baltimore: John Hopkins University Press, 1992: 3-28.
- [10] Shaw J H, Hook S C, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(5): 700-721.
- [11] Epard J L, Groshong R H. Kinematic model of detachment folding including limbrotation, fixed hinges and layer-parallel strain[J]. Tectonophysics, 1995, 247: 85-103.
- [12] Poblet J, McClay K. Geometry and kinematics of single-layer detachment folds[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(7): 1085-1109.
- [13] Erslev E A. Trishear fault-propagation folding[J]. Geology, 1997, 19: 617-620.
- [14] Hardy S, Ford M. Numerical modeling of trishear fault propagation folding[J]. Tectonics, 1997, 16: 841-854.
- [15] Allmendinger R W. Inverse and forward modeling of trishear fault-propagation folds[J]. Tectonics, 1998, 17: 640-656.
- [16] Novoa E, Mount V, Suppe J. Map-view interference of mono-clinal folds[J]. Journal of Structural Geology, 1998, 20: 339-353.
- [17] 李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等.塔里木盆地中央地区的断裂系统:几何学、运动学和动力学背景地质科学[J].地质科学,2008,43(1):82-118.
Li Yuejun, Wu Genyao, Meng Qinglong, et al. Fault systems in central area of the Tarim Basin: geometry, kinematics and dynamic settings[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(1): 82-118.
- [18] Finch E, Hardy S, Gawthorpe R. Discrete element modelling of contractional fault-propagation folding above rigid basement fault blocks[J]. Journal of Structural Geology, 2003, 25: 515-528.
- [19] Shaw J H, Connors C, Suppe J. Seismic interpretation of contractional fault-related folds: an AAPG seismic atlas[M]. American Association of Petroleum Geologist's Special Publication, 2004: 1-270.
- [20] Sylvester G. Strike-slip faults[J]. Geological Society of America Bulletin, 1988, 100: 1666-1703.
- [21] 管树巍,杨海军,韩剑发,等.塔中低凸起的构造属性和解释方法[J].石油与天然气地质[J].2011,32(54):777-785.
Guan Shuwei, Yang Haijun, Han Jianfa, et al. Structural properties and interpretation methods of the Tazhong Low Salient[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 777-785.
- [22] Shaw J H, Bilotti F, Brennan P. Patterns of imbricate thrusting[J]. Geological Society of America Bulletin, 1999, 111(7): 1140-1154.
- [23] Wilkerson M S, Dicken C L. Quick-look techniques for evaluating two-dimensional cross sections in detached contractional settings[J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(10): 1759-1770.
- [24] Johnson K M, Johnson A M. Mechanical analysis of the geometry of forced-folds[J]. Journal of Structural Geology, 2002, 24: 401-410.