

塔里木盆地塔中 I 号构造带分段变形的运动学特征与成因探讨

张仲培¹⁾, 王璐瑶²⁾, 邓尚¹⁾, 魏华动³⁾, 张继标¹⁾

1) 中国石油化工勘探开发研究院,北京,100083;2) 中国石油长庆油田分公司,西安,710018;
3) 中国石化西北油田分公司,乌鲁木齐,830011

内容提要: 塔里木盆地塔中 I 号构造带在构造样式、活动强度等方面表现出明显的分段性,但分段变形的运动学特征与成因仍不够明确,需要开展进一步研究。本文利用二维、三维地震资料,通过精细构造解析、运动学参数统计、活动期次厘定等手段,研究了塔中 I 号构造带的几何学、运动学特征,分析其分段变形机制,并讨论了分段控制因素。研究表明:以中古 15 井与中古 21 井位置为界,塔中 I 号构造带构造样式、运动学特征主要呈三段的特点,西段主要活动机制是断裂短距离滑动逆冲和地层旋转变形,同一层位的落差/垂直断距(H/h)值最大;中段为断裂沿走向滑动, H/h 值约为 1;东段为断裂长距离滑动逆冲和强烈褶皱, H/h 值介于二者之间。活动机制的差异导致各段构造样式分别为基底卷入逆冲断裂控制的断层传播褶皱、走滑断裂发育的断控坡折、逆冲断裂强烈活动控制的断块褶皱,且活动强度呈现东段最大、西段次之、中段较小的特点。两大造山带分期活动是塔中 I 号构造带分段变形的发育背景,基底结构与先存断裂是造成分段的主控因素,NE 向走滑断裂调节塔中 I 号构造带差异逆冲变形,并作为伴生断裂发育。

关键字: 塔里木盆地; 塔中 I 号构造带; 几何学特征; 运动学特征; 分段变形; 断裂特征

自塔里木盆地油气勘探以来,塔中隆起作为盆地中部下古生界油气增储上产的有利区域引起越来越重视(邬光辉等,2007;杨海军等,2007;刘洛夫等,2008;胡德胜,2010;阳怀忠,2010;Zhou Xinyuan et al., 2010;沈卫兵等,2018)。通过对塔中隆起断裂体系格局与油气分布规律的深入研究发现,理清大中型构造带各段的发育变形特征对进一步认识断裂控储、控藏作用具有重要指示意义(张仲培等,2009;王毅等,2014;焦方正,2017;邓尚等,2018;张继标等,2018),尤其是作为塔中隆起与顺托果勒低隆边界断裂的塔中 I 号构造带(李传新等,2009;余一欣等,2010;任建业等,2011;王洪浩等,2016)。针对塔中 I 号构造带的分段性研究,前人主要通过几何学特征描述配合少量数据统计总结分段特征,关于其命名也有逆冲断裂带、断裂坡折带、膝折带等不同说法(邬光辉等,2005,2012;李曰俊等,2008;李传新等,2010;Wu Guanghui et al., 2016; Han Xiaoying et al., 2017)。说明仍缺乏对塔中 I 号构造带沿走

向展开细致的结构解剖和定量统计分析,并从运动学角度研究每段变形特征的内在成因。本文以塔中 I 号构造带为研究对象,通过沿走向的精细构造解析,结合运动学参数统计分析,系统研究其分段变形特征,并探讨了分段变形的控制因素。对于深化认识塔中 I 号构造带的内部结构,评价塔中 I 号构造带构造活动对上、下盘油气成藏条件的控制作用具有理论和实际意义。

1 区域地质概况

1.1 地质概况

塔中 I 号构造带为塔中隆起和北部顺托果勒低隆的边界断裂。塔中隆起地处中央隆起带中部,向南连接塘古巴斯坳陷,以塔中南缘断裂带作为分隔边界;西部为巴楚隆起,以吐木休克断裂为边界,东部连接古城墟隆起。顺托果勒低隆北部为塔北隆起;东西向位于阿瓦提凹陷与满加尔坳陷之间。结合前人研究,塔中隆起与顺托果勒低隆在古生代主

注:本文为中国石化基础前瞻研究项目“塔里木盆地中央隆起构造解析与物理、数值模拟研究”(编号:P15089)的成果。

收稿日期:2019-11-24;改回日期:2020-04-23;责任编辑:刘志强。Doi:10.16509/j.georeview.2020.04.007

作者简介:张仲培,男,1974 年生,高级工程师,主要从事构造地质学与油气地质学研究;Email: zhzhp.syky@sinoepc.com。通讯作者:王璐瑶,女,1993 年生,工程师,主要从事构造地质学研究;Email: 732014437@qq.com。

要经历了四期构造演化阶段:前寒武纪—早奥陶世克拉通边缘拗拉槽与克拉通内弱伸展背景阶段、中—晚奥陶世周缘前陆挤压隆升阶段、志留纪—泥盆纪持续挤压阶段、石炭纪整体缓慢抬升阶段(李传新等,2009;张仲培等,2009;任建业等,2011;Han Xiaoying et al., 2017)。

奥陶系是塔中深层油气勘探的主力层位,自下而上包括下统蓬莱坝组(O_{1p}),中一下统鹰山组(O_{1-2y}),中统一间房组(O_{2yj}),上统恰尔巴克组(O_{3q})、良里塔格组(O_{3l})和桑塔木组(O_{3s})。塔中隆起一间房组全部及鹰山组上部地层遭受剥蚀,顺托果勒低隆抬升幅度较低,仅一间房组顶部有较少的剥蚀量。塔中隆起主力产层为良里塔格组开阔台地相礁滩体沉积,发育多个亚相生物礁颗粒灰岩;顺托果勒低隆主力产层为一间房组岩溶型风化壳砂屑灰岩和鹰山组上段灰岩。

1.2 断裂体系分布特征

塔中隆起主要发育 NW、NE、EW 向三个方向的断裂,断裂体系总体呈向东南收敛、向北西撒开的帚状形态(图 1)(胡德胜,2010;阳怀忠,2010;汤良杰

等,2012;王洪浩等,2016)。NW 向断裂包括塔中 I 号构造带、塔中 10 号断裂带、塔中 II 号断裂带以及南缘断裂带。塔中 I 号构造带长约 240 km,倾向 SW,与南缘断裂带共同活动发生背冲作用,控制塔中隆起复式背斜形成。南缘断裂带是塔中隆起南部边界断裂,断面倾向 NE,形成低缓的构造坡折带。塔中 II 号断裂带是塔中隆起的轴部,断面倾向 NE,平面上呈反“S”形。NW 向大型构造带都属于基底卷入断裂,对塔中隆起的现今结构形态有重要控制作用。在塔中 I 号构造带上下盘发育数条 NE 向的走滑断裂,多为左行走滑,贯穿塔中隆起及顺托果勒低隆的大型走滑断裂约有 12 条(图 1),延伸长度 50~150 km。这些断裂的基本特征相近,剖面上断入基底,形态陡直,在奥陶系、志留系断裂产生分支形成花状构造;平面上与塔中 I 号构造带近垂直相交。

2 塔中 I 号构造带分段变形特征

通过选取垂直塔中 I 号构造带走向的等间距的 91 条剖面(编号自 L11 至 L9011,以 100 为间距)(图 2),对各剖面进行精细构造解析,并统计相关运

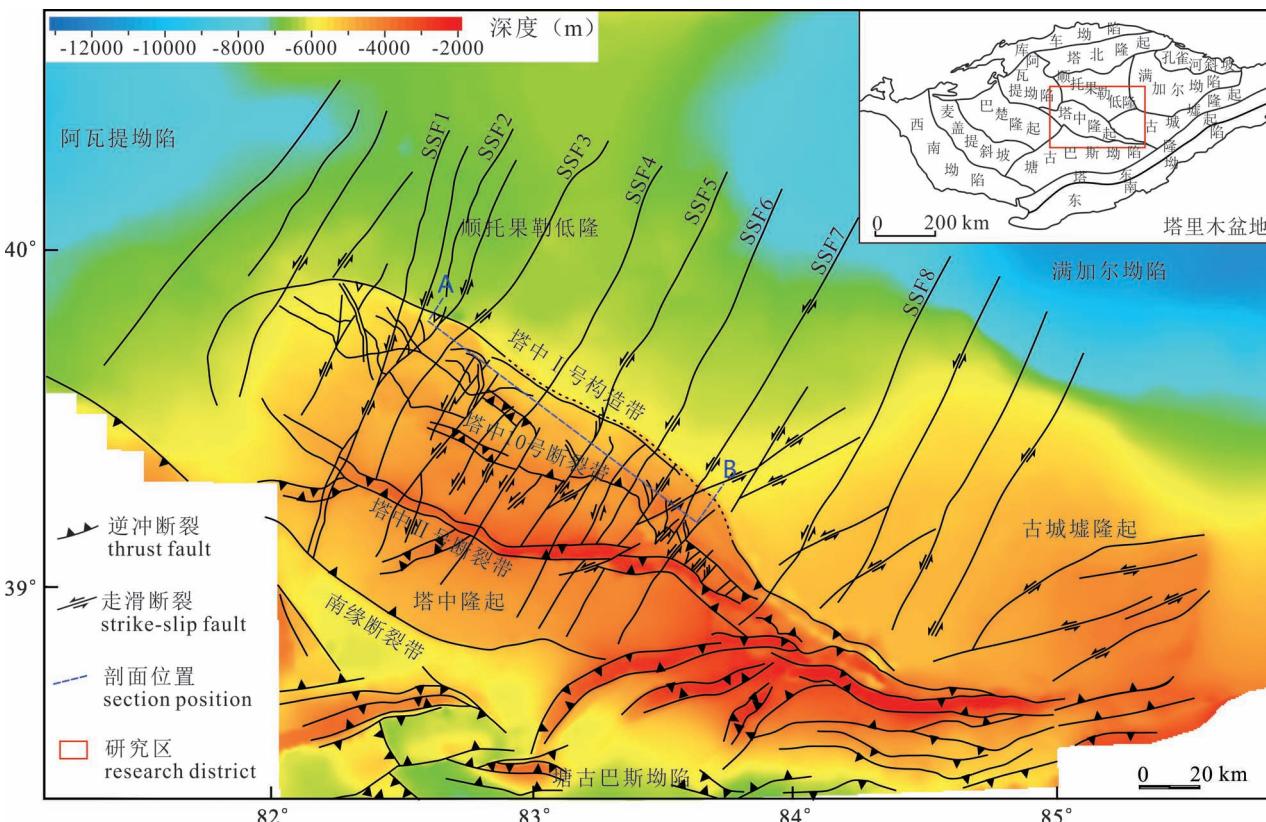


图 1 塔里木盆地塔中隆起及邻区中下奥陶统顶面断裂—构造平面图

Fig. 1 Fault distribution and structure contour map at the top of Middle—Lower Ordovician in the Tazhong Uplift and peripheral area, Tarim Basin

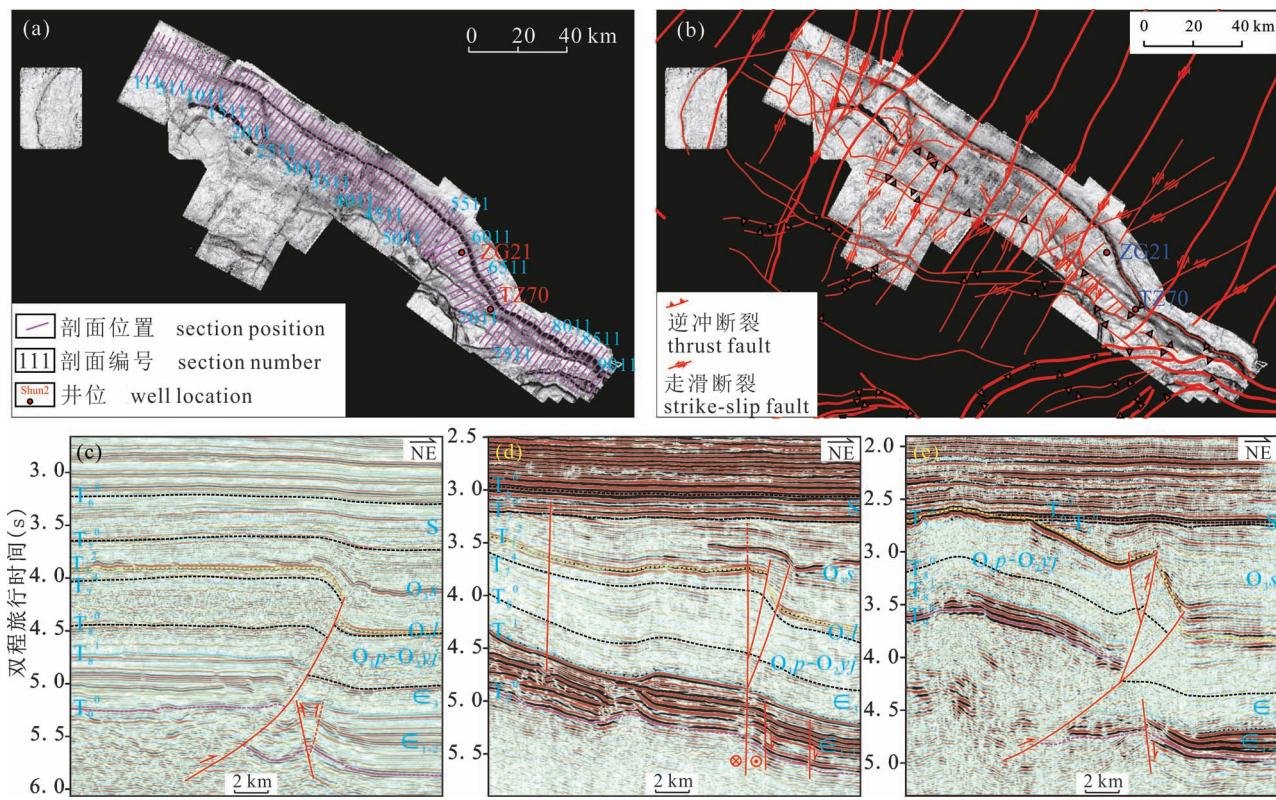


图2 塔里木盆地塔中 I 号构造带 T_7^2 界面地震相干属性图及断裂解析(剖面位置见图 2a):(a) 塔中 I 号构造带 T_7^2 界面地震相干属性图;(b) 塔中 I 号构造带与邻近断裂平面解释;(c) L1611 解释剖面;(d) L4411 解释剖面;(e) L7711 解释剖面
Fig. 2 Seismic coherence attribute map and fault interpretation at interface T_7^2 of Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin (see Fig. 2a for location):(a) Seismic coherence attribute map at interface T_7^2 of Tazhong No. 1 structural belt;(b) interpretation of Tazhong No. 1 structural belt and adjacent faults;(c) interpretation of section L1611;(d) interpretation of section L4411;(e) interpretation of section L7711

动学参数,研究塔中 I 号构造带的几何学与运动学特征,分析其分段变形特征,并结合断裂—地层接触关系分析了塔中 I 号构造带的活动期次。

2.1 几何学特征

2.1.1 断裂带产状

塔中 I 号构造带为 NW—SE 走向,在 NW270°~325° 范围变化,其东南端向帚状断裂体系“根部”聚拢,西北端呈回钩的形状,向阿瓦提坳陷逐渐倾伏。从东至西,塔中 I 号构造带在塔中 70 井与中古 21 井之间走向发生明显变化,变为约 NW295°,之后又恢复 NW325°,表现为中部向 NE 稍微突出的特征(图 2)。塔中 I 号构造带在东西两端发育基底卷入的铲式逆冲断裂,倾向 SW, 呈上陡下缓的形态;而中部区域逆冲断裂较不发育,以构造坡折为主。

2.1.2 断裂带上盘形态

断层相关褶皱是地层吸收断层活动位移量的变形表现,根据褶皱变形样式可以分析断层活动强度、

时间等要素。沿塔中 I 号构造带走向可将上盘变形样式分为七类(图 3),自西向东依次为:① 宽缓背斜。该段塔中 I 号构造带表现为基底卷入的逆冲断裂,上盘地层基本呈水平,总体表现为宽缓背斜,变形程度较低;② 前陡后缓不对称背斜。该段塔中 I 号构造带仍发育基底卷入逆冲断裂,上盘发育不对称背斜,沿断面上倾方向存在断层相关三角变形区,上下盘地层呈牵引构造,该段逆冲断裂活动强度大于上一段,上盘变形程度中等;③ 高角度断控坡折-I。该段塔中 I 号构造带断裂较不发育,上奥陶统良里塔格组呈高角度坡折形态,上盘该地层厚度增加;④ 高角度断控坡折-II。该段类似上一段良里塔格组的坡折形态,且上盘该地层厚度明显增加,寒武系及中下奥陶统在对应坡折部位发生挠曲变形;⑤ 背冲断层控制的不对称断背斜。该段塔中 I 号构造带发育基底卷入逆冲断裂,与强烈挤压作用形成的背冲断裂共同控制上盘发育不对称断背斜,良

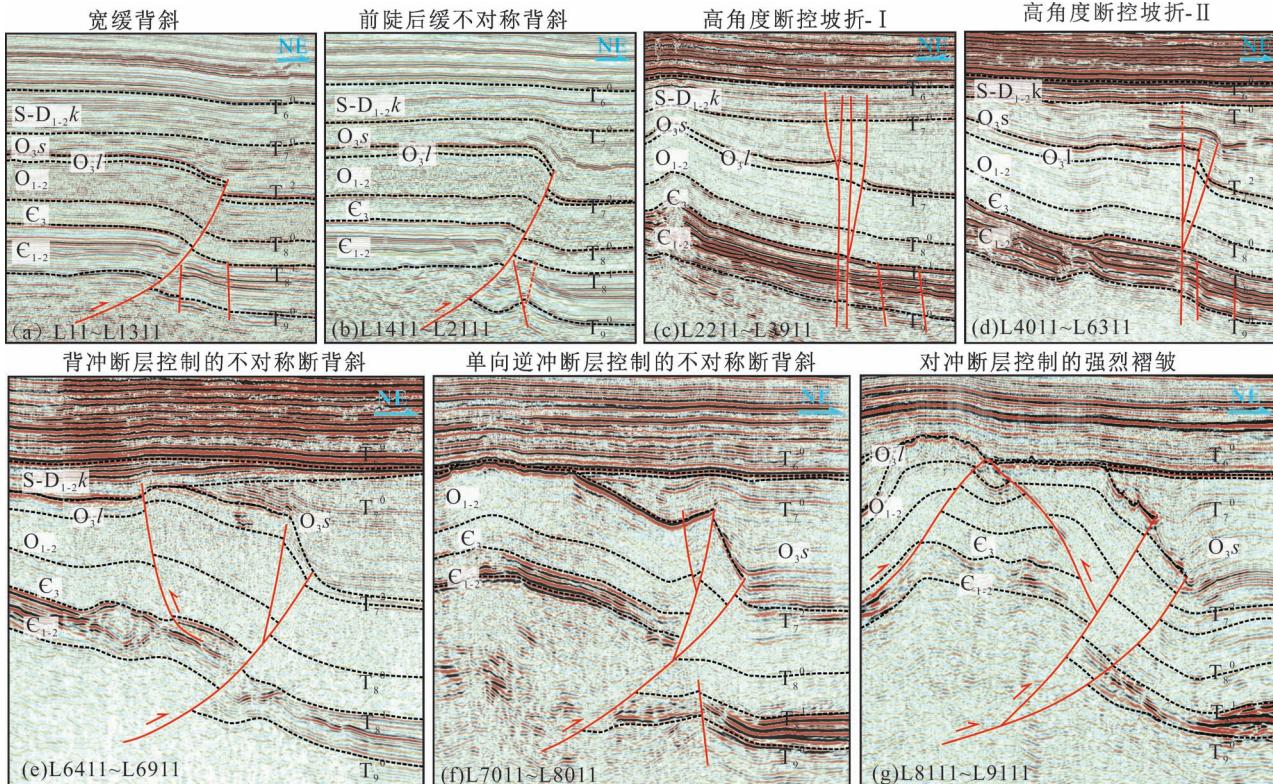


图 3 塔里木盆地塔中 I 号构造带上盘变形样式

Fig. 3 Deformation patterns of hanging-wall of Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

里塔格组地层仍保留部分坡折形态,地层总体倾角变大,反映往东部构造活动强度变剧烈;⑥ 单向逆冲断层控制的不对称背斜。该段塔中 I 号构造带逆冲断裂发育多条分支断裂,控致了上盘中上奥陶统地层形成断背斜,上盘变形程度较强烈;⑦ 对冲断层控制的强烈褶皱。该段塔中 I 号构造带发育多条逆冲分支断裂,其中背冲的分支断裂与 SW 侧膏岩层滑脱断裂构成对冲三角构造,导致上盘地层强烈褶皱。

通过分析,塔中 I 号构造带上盘变形样式沿走向的变化反映了断裂活动强度自西向东由较强变弱、再变更强的活动特征。

2.1.3 卷入变形的构造带宽度范围(W)

大中型挤压构造带受区域强烈挤压作用,发育具有一定宽度的断裂—褶皱变形带(图 4),定量分析构造带宽度等参数沿其走向的变化特征对研究各段活动强度及成因机制有重要意义。

根据塔中 I 号构造带两盘褶皱轴面界定了卷入变形的构造带宽度范围,通过对 91 条剖面的构造带宽度厘定,显示塔中 I 号构造带沿走向宽度曲线以 L2111、L6311 剖面位置分为三段,且宽度东部较大,

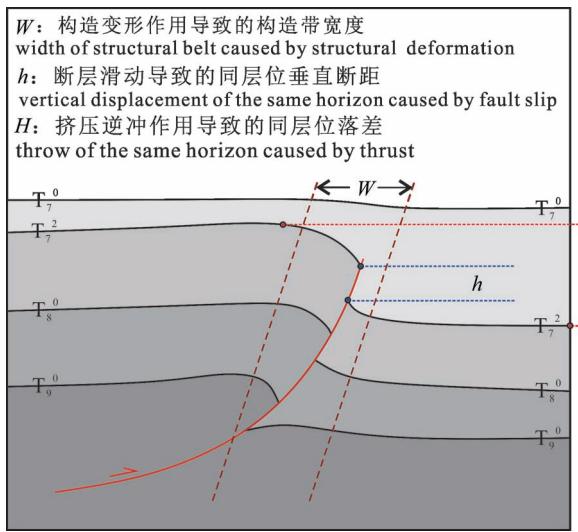


图 4 挤压型构造带相关参数(宽度、垂直断距、落差等)示意图

Fig. 4 Schematic diagram showing related parameters (width, vertical displacement and throw) of compressive tectonic zone

西部次之,中部较小(图 5)。在西部曲线呈现两个高峰;中部总体较平稳,呈向东缓慢增加的趋势;东

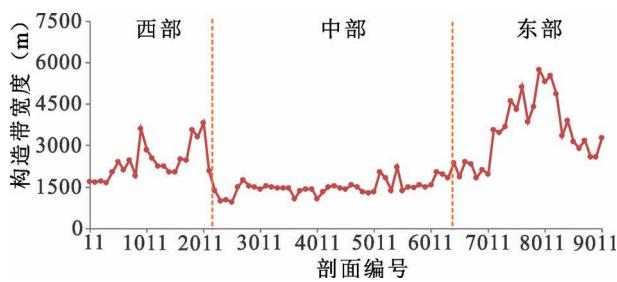


图 5 塔里木盆地塔中 I 号构造带宽度统计

Fig. 5 Width statistic of Tazhong No. 1 structural belt

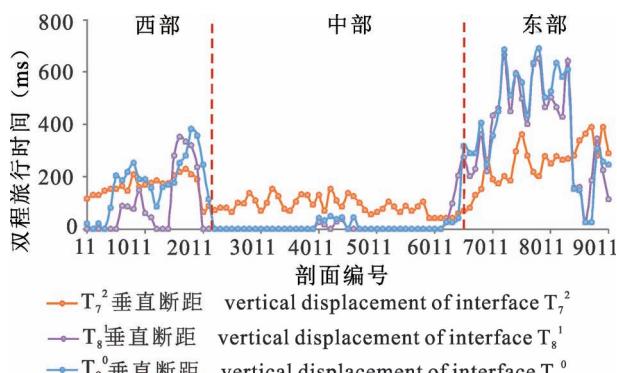
部构造带宽度较大变化比较强烈,总体呈现一个峰值。塔中 I 号构造带宽度大的部位与上盘变形程度强烈的位置较好对应。

2.2 运动学特征

2.2.1 断层滑动导致的同层位垂直断距(h)

在地层、构造解释的基础上,分别统计了前寒武系顶面(T_9^0)、中下寒武统顶面(T_8^1)、上奥陶统良里塔格组顶面(T_7^2)由断层沿倾向滑动导致的垂直断距(h)(图 4、图 6)。

统计结果表明,地层垂直断距总体也呈现东部较大、西部次之、中部较小的“三段式”特征。 T_9^0 界面垂直断距曲线西部有两个相对峰值;中部大部分垂直断距为零,只有中间一小段有数据,说明地层发生了挠曲变形;东部数值较大,且经历了上升再下降的趋势。 T_8^1 界面垂直断距曲线变化特征与 T_9^0 类似,垂直断距总体小于 T_9^0 界面,反映构造带基底的活动幅度较大,向上有所减小。 T_7^2 界面垂直断距在塔中 I 号构造带西部从西往东逐渐增大;中部垂

图 6 塔里木盆地塔中 I 号构造带 T_7^2 、 T_8^1 、 T_9^0 界面垂直断距统计散点图Fig. 6 Vertical displacement scatter diagram of interface T_7^2 , T_8^1 and T_9^0 in Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

断距保持较平稳波动,且该部分数据不像 T_9^0 、 T_8^1 界面基本为零,分析为良里塔格组断控坡折导致的上下盘地层高度差异引起;东部垂直断距又逐渐增大。

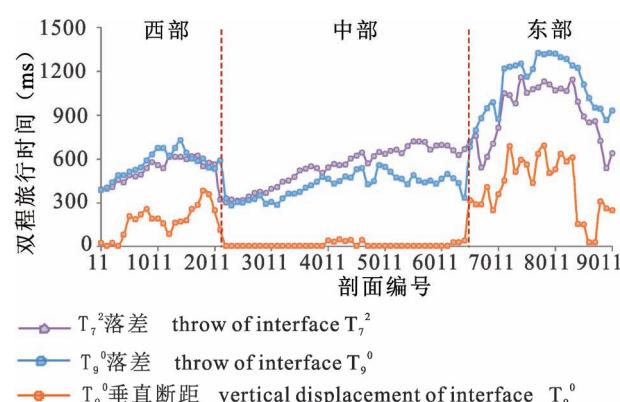
综上分析可知,塔中 I 号构造带沿走向地层垂直断距变化分为三段,其中东、西部分地层垂直断距较大,中部垂直断距较小。塔中 I 号构造带中部良里塔格组垂直断距明显增大,指示该段良里塔格组发育同构造沉积形成台地坡折。

2.2.2 构造变形导致的同层位落差(H)

为了研究塔中 I 号构造带两侧地层变形幅度,统计了由塔中 I 号构造带构造变形引起的 T_9^0 、 T_7^2 界面上盘隆起最高点与下盘水平地层(近似为未变形地层)之间的落差(H)(图 4)。

沿塔中 I 号构造带走向, T_9^0 界面落差曲线具有“三段式”特征,且每段曲线都表现“中间高、两边低”的特征,反映各段中间部位受塔中 I 号构造带影响地层隆升幅度较大(图 7)。对比 T_9^0 界面落差与 T_9^0 界面垂直断距,两组数据变化规律相似,但落差大于垂直断距,说明塔中 I 号构造带内发生挤压应力下的地层旋转变形,且塔中 I 号构造带造成地层错断与隆升变形的强度有内在联系、相互协调,垂直断距大的部位其界面落差也较大。

同样地, T_7^2 界面落差也呈现“三段式”特征,数值表现为东部大于西部再大于中部的特点。在西部与东部, T_7^2 界面落差小于 T_9^0 界面,而中部相反,表明在逆冲断裂发育部位基底的隆升幅度大于良里塔

图 7 塔里木盆地塔中 I 号构造带 T_7^2 、 T_9^0 界面落差与 T_9^0 界面垂直断距统计散点图Fig. 7 Scatter diagram showing throw of interface T_7^2 , T_9^0 and vertical displacement of interface T_9^0 in Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

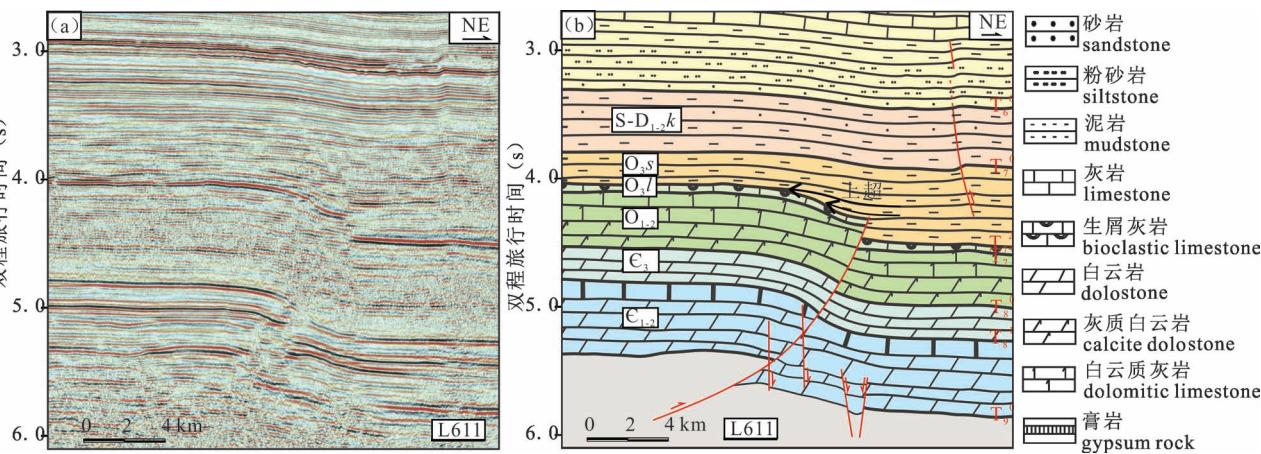


图 8 塔里木盆地塔中 I 号构造带西部 L611 地震剖面(a)与 L611 地质剖面(b; 剖面位置见图 2a)

Fig. 8 Representative 2-D Seismic section L611 of west Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin (see Fig. 2a for location)

(a) Seismic section L611; (b) geological section L611

格组隆升幅度;但在中部坡折部位,基底隆升幅度小于良里塔格组隆升幅度,良里塔格组台缘礁滩发育,厚度增大,沉积作用导致视隆升幅度变大。

2.3 活动期次

2.3.1 初始活动期

剖面可见塔中 I 号构造带逆冲断裂断至 T_7^2 界面,断开地层的变形较协调统一,分析为同一时期活动形成(图 8);在逆冲断裂不发育的坡折挠曲段,台缘厚度主要在鹰山组—良里塔格组增加,对应的寒武系地层有挠曲变形,因此判断塔中 I 号构造带主要活动期为良里塔格组—桑塔木组沉积期,对应加里东中期 I 幕—II 幕构造运动时期,坡折部位主要活动期可能开始的更早一些。

2.3.2 再活动期

在塔中 I 号构造带西部,逆冲断裂未断入桑塔木组,但该组地层对 T_7^2 界面有上超现象,且在褶皱顶部地层也隆起变形。说明桑塔木组沉积时断裂仍隐伏活动。在塔中 I 号构造带东部,逆冲断裂断至 T_7^2 界面,分支断裂与三角构造发育,良里塔格组地层被部分剥蚀,上覆桑塔木组对三角构造上超(图 9),分析认为良里塔格组沉积时塔中 I 号构造带断裂发育,桑塔木组沉积时塔中 I 号构造带逆冲断裂未断入地层,但断裂活动控制该地层持续隆升变形,故桑塔木组沉积时期为构造带的再活动期 I 期。

志留纪—泥盆纪为塔中 I 号构造带的再活动期 II 期,该时期构造带沿走向只有局部活动,挤压应力

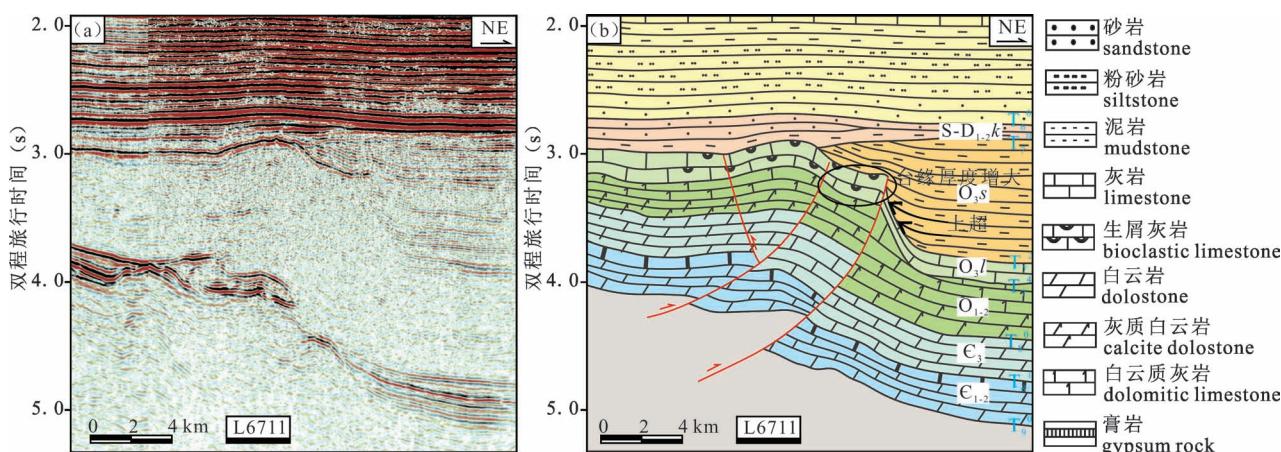


图 9 塔里木盆地塔中 I 号构造带东部 L6711 地震剖面(a)与 L6711 地质剖面(b; 剖面位置见图 2a)

Fig. 9 Representative 2-D Seismic section L6711 of east Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

(see Fig. 2a for location): (a) seismic section L6711; (b) Geological Section L6711

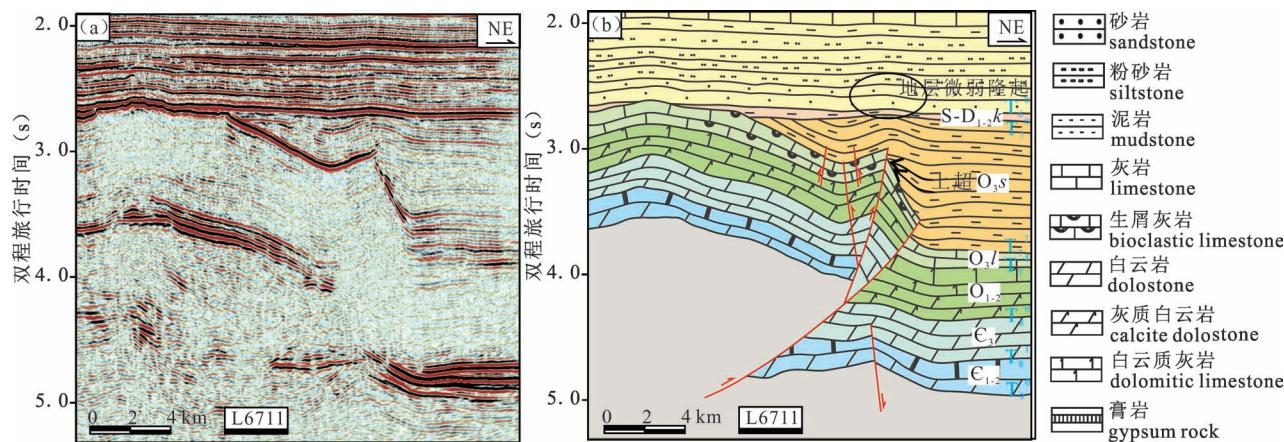


图 10 塔里木盆地塔中 I 号构造带东部 L7711 地震剖面(a)与 L7711 地质剖面(b);剖面位置见图 2a)

Fig. 10 Representative 2-D Seismic section L7711 of east Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin
(see Fig. 2a for location): (a) seismic section L7711; (b) geological Section L7711

沿断裂活动推挤使志留系—泥盆系地层发生隆起。在塔中 I 号构造带东段可见构造带再活动的迹象(图 10)。

根据变形强度,可以看出,初始活动期也是塔中 I 号构造带的主要活动期。

3 塔中 I 号构造带分段变形模式与机制

断裂带及其上盘相关褶皱的构造样式受控于断裂滑动的方式和强度。当断裂高角度逆冲时引起上盘多呈不对称褶皱样式,褶皱范围小,上盘相对平缓,断层倾向滑动和上盘地层旋转(或呈膝褶带变形)是主要变形机制;断裂高角度走滑活动时主要沿走向滑动,上盘褶皱变形很弱,产状基本保持不变;当断裂以中低角度逆冲时或缩短量较大的挤压逆冲时,断层倾向滑动和背冲(对冲)作用引起的复杂褶皱变形是主要变形机制。结合塔中 I 号构造带的几何学、运动学特征研究,以构造带平面展布特征、剖面变形样式为基础,分析运动学参数统计规律,并参考前人成果,将塔中 I 号构造带沿走向分为 3 段,每段内部又细分为 2 到 3 段,共 7 个小段。

3.1 西段短距离逆冲—地层旋转活动

塔中 I 号构造带的西段介于顺 2 井—中古 15 井之间,主要为受 SW 方向推覆力作用形成的基底卷入式高角度逆冲断裂,断裂沿倾向短距离滑动逆冲和上盘地层旋转变形引起的不对称褶皱发育导致同一界面的落差远大于垂直断距,即 H/h 值远大于 1(图 11)。该段自西向东逆冲断裂活动强度逐渐增大, T_7^2 界面垂直断距逐渐增大后趋于平稳;构造带

宽度介于 1680~2100 m。主要活动期为加里东中期 I 幕运动;次要活动期为上奥陶统桑塔木组沉积时期,该时期断裂隐伏活动,地层上超沉积;加里东晚期—海西早期为再活动期,受挤压应力作用地层发生隆升。以塔中 40 井为界可将西段分为两小段,以西活动强度较弱,以东增强(图 11)。

3.2 中段右行走滑活动

中段介于中古 15 井—中古 21 井之间,受到 SW 方向较弱的挤压应力和右行剪切应力作用,发育 NW 向右行走滑断裂为主,该段上下盘地层垂直落差小,上盘变形程度最弱,断裂沿走向滑动的主要活动机制导致同一界面的落差与垂直断距相近,故 H/h 值最小且接近 1(图 11)。 T_7^2 界面垂直断距在该段较平稳,变化不大;构造带宽度在 970~2230 m。

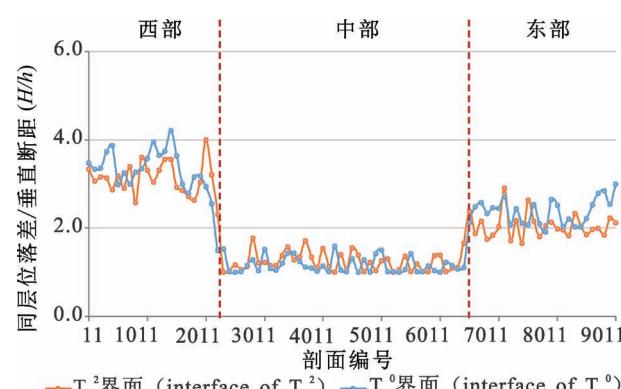


图 11 塔里木盆地 T_7^2 , T_9^0 界面落差/垂直断距(H/h)散点图

Fig. 11 Scatter diagram showing throw—vertical displacement ratio (H/h) of interface T_7^2 , T_9^0

该段主要活动期为加里东中期 I 幕运动,稍早于东、西两段形成时期;次要活动期为上奥陶统桑塔木组沉积时期,该时期挤压应力持续作用,地层上超沉积;加里东晚期—海西早期该段并未活动。以塔中 66 井可将中段分为两小段,以西活动强度较弱,以东增强(图 11)。

3.3 东段长距离逆冲—强烈褶皱活动

东段介于中古 21 井—塔中 27 井之间,主要受来自 SW 方向的推覆力作用形成了基底卷入式中低角度逆冲断裂,塔中 I 号构造带在该段逆冲作用强烈,地层垂直落差大、上盘褶皱变形程度最强,导致志留系—中下泥盆统被大量剥蚀。该段主要活动机制为断裂沿倾向中低角度长距离滑动逆冲(进而引起背冲、对冲作用)和强烈褶皱作用,造成同一界面落差和垂直断距均较大,故 H/h 值变化较大,且介

于另外两段之间(图 11)。该段 T_7^2 界面垂直断距逐渐增大;构造带宽度介于 1820~5120 m,宽度值自西向东增大。主要活动期为加里东中期 I 幕运动;次要活动期为上奥陶统桑塔木组沉积时期;加里东晚期—海西早期为再活动期,受挤压应力作用地层发生隆升。以塔中 70 井、塔中 26 井可将东段细分为三小段,自西向东活动强度增大,塔中 I 号构造带逆冲断裂的分支断裂越发发育,上奥陶统一泥盆系被剥蚀程度加剧(图 11)。

4 塔中 I 号构造带分段变形的力学成因讨论

4.1 基底结构及先存构造对分段的控制作用

剖面可见塔中 I 号构造带逆冲断裂附近寒武系有张性小断裂的发育(张振生等,2002;余一欣等,

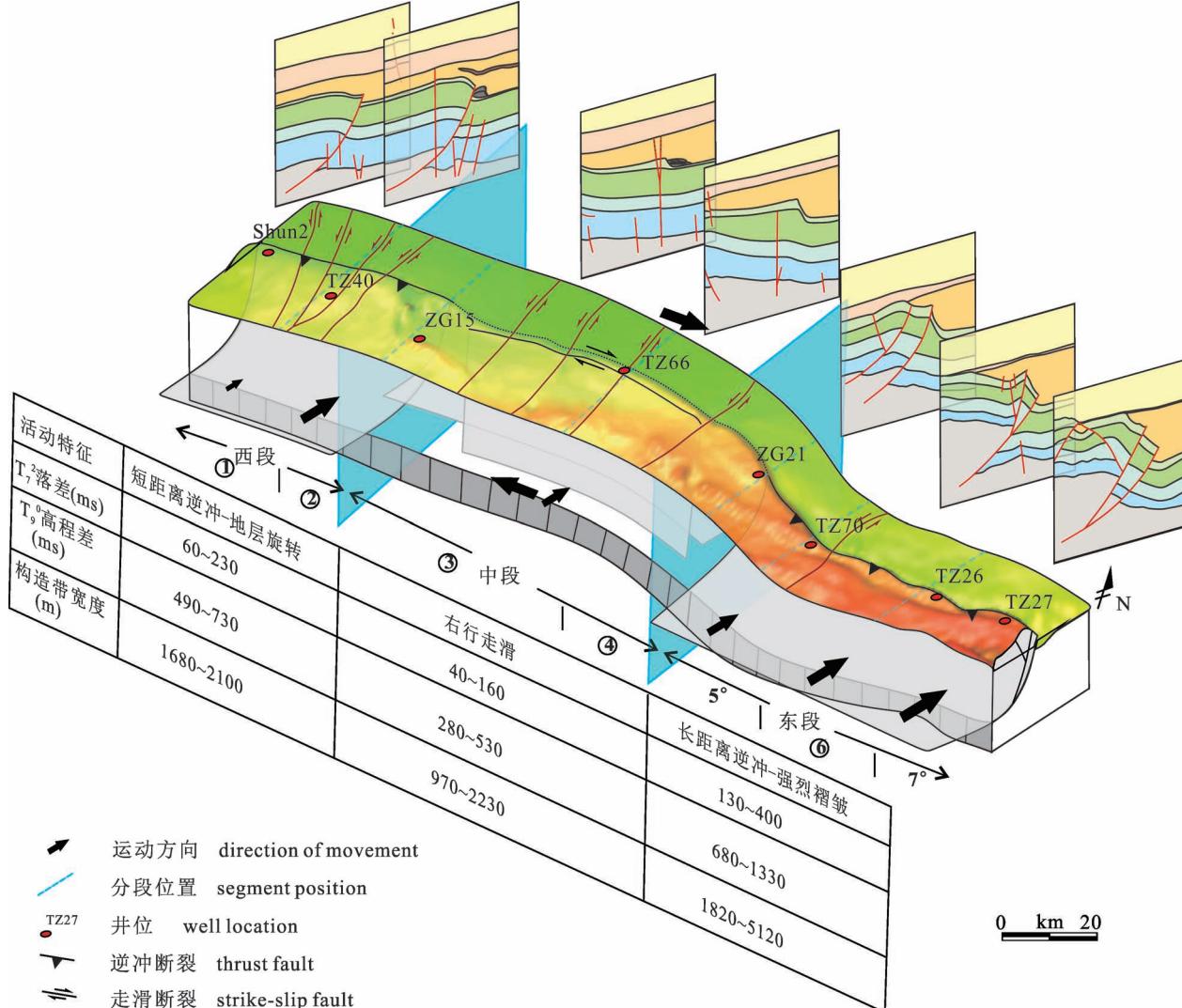


图 12 塔里木盆地塔中 I 号构造带立体分段模式

Fig. 12 3-D segmentation mode of the Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

2010)。通过将解释的寒武系一下奥陶统正断裂投影在上奥陶统良里塔格组顶面相干图上,发现寒武系正断裂与塔中 I 号构造带大部分区域较好吻合,在中段正断裂发育程度较弱。剖面可见这类正断裂后期受逆冲作用影响发生反转。李本亮(2009)、李传新(2010)等从构造力学角度分析认为,早期发育的寒武系正断裂提供了一个受力薄弱地带,在加里东中期 I 幕受区域挤压应力时容易在该处产生二次破裂,且构造带中段正断裂较不发育,对比认为塔中 I 号构造带西段和东段更容易发育后期逆冲断裂。

4.2 区域动力学对分段的影响

周缘造山带的重大构造运动旋回事件影响了塔中隆起及大断裂的形成演化,西昆仑造山带运动与阿尔金造山带运动对塔中隆起断裂系统发育起到重要的控制作用。

(1) 加里东中期 I 幕运动:早中奥陶世末,古特提斯洋向北俯冲削减,西昆仑造山带活动,塔中以北东向强烈冲断运动为主。作为造山带的锋缘断裂,塔中 I 号构造带沿基底、寒武系早期张性断裂位置逆冲发育,西段距西昆仑造山带较近,受应力作用强,故该段逆冲断裂活动较发育,中、东段发育较弱。

(2) 加里东中期 III 幕—海西早期运动:奥陶纪末,盆地东南侧原特提斯古阿尔金洋向塔里木板块俯冲消减闭合。塔中地区整体强烈隆升,塔中 I 号构造带在加里东中期 I 幕运动形成的北西向逆冲断裂受压扭力作用继承性活动,尤其在东段挤压作用持续叠加,导致该段强烈抬升,活动强度增大。同时构造带发生北西向的 R 剪切右旋走滑,剖面上明显可见塔中 I 号构造带中段上盘邻近台缘位置有基底卷入的走滑断裂发育。

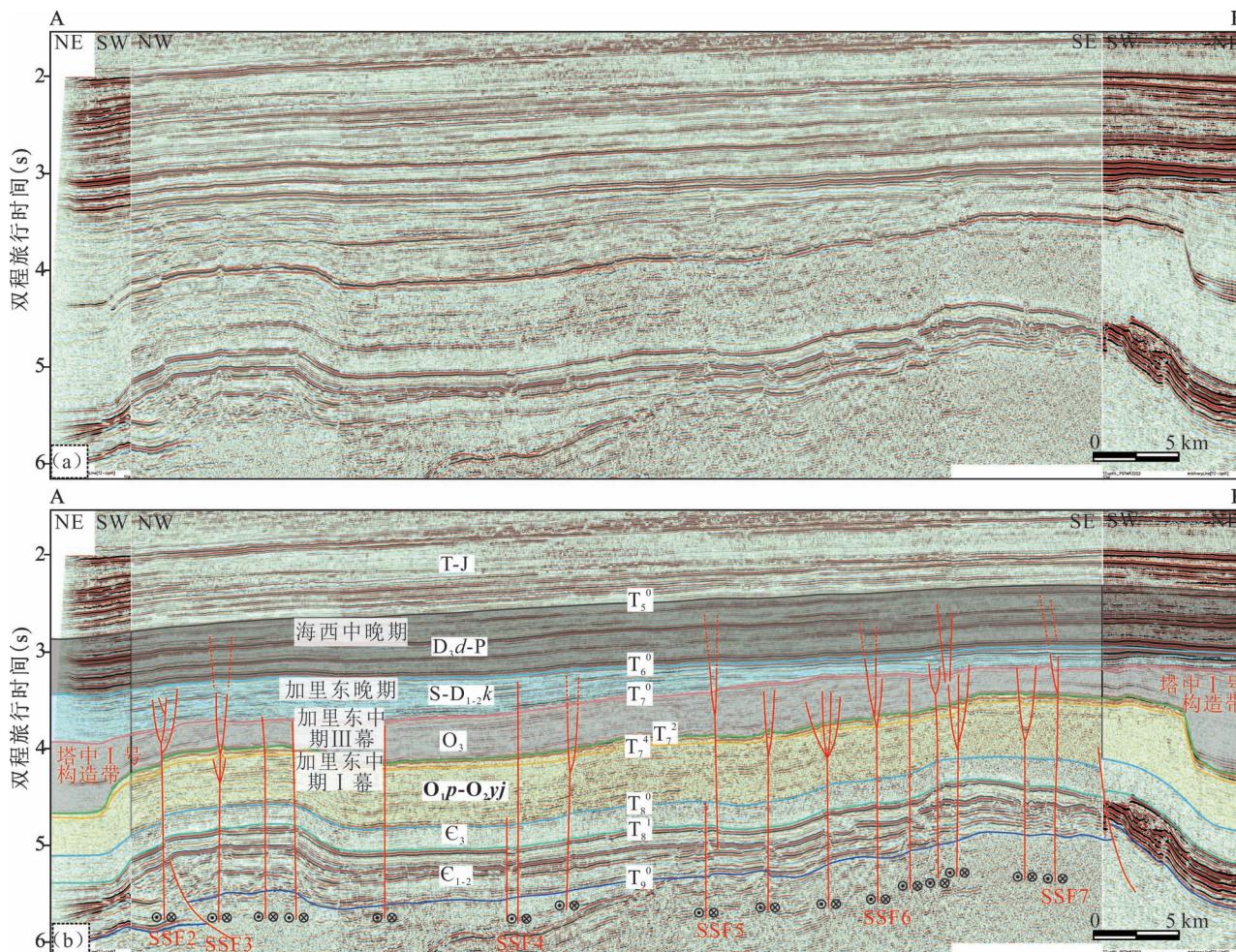


图 13 过塔中 I 号构造带与 NE 向走滑断裂地震剖面及二者活动期次厘定(剖面位置见图 1)
(a) A—B 地震剖面; (b) A—B 解释剖面

Fig. 13 Seismic section cut Tazhong No. 1 structural belt and NE-striking strike-slip faults and determination of active stages of the faults (see Fig. 1 for location): (a) seismic section A—B; (b) interpretation section A—B

4.3 NE 向走滑断裂对分段的控制作用

通过分析塔中隆起及北坡发育的 NE 向走滑断裂剖面特征 (Lan Xiaodong et al., 2015), 认为其经历了加里东中期 I 幕、加里东中期 III 幕、加里东晚期—海西早期、海西中晚期四期主要活动 (图 12), 且与塔中 I 号构造带发育形成有密切的联系: 加里东中期 I 幕塔中 I 号构造带开始活动, 由于推覆挤压时应力背景与岩层力学性质的差异, 导致差异逆冲, NE 向走滑断裂作为调节断层开始发育; 加里东中期 III 幕, 塔中 I 号构造带受到阿尔金造山带 SE 向斜向挤压力作用, 其中段右行走滑活动; 而 NE 向走滑断裂作为塔中 I 号构造带主走滑断裂的 R' 反向走滑断裂也继续发育; 加里东晚期—海西早期, 塔中 I 号构造带基本定型, NE 向走滑断裂受剪切力作用继承性活动, 剖面发育花状构造; 海西中晚期, 部分走滑断裂再次开启活动。通过统计 NE 向走滑断裂类型、滑移距等特征, 表明此类走滑断裂在与塔中 I 号构造带交汇处对构造带有切割作用, 产生了 100~1500 m 滑移距, 根据本文建立的分段模式, 有 3 条走滑断裂位于塔中 I 号构造带分段分界的位置。综合以上分析认为走滑断裂可能作为塔中 I 号构造带差异逆冲的调节断裂, 同时对构造带产生切割作用, 二者既有同期活动关系, 也有走滑断裂后期再活动对其切割的关系。

5 结论

(1) 塔中 I 号构造带及上盘的构造样式呈现分段特征, 总体表现为西部基底卷入逆冲断裂控制的断层传播褶皱, 中部为走滑断裂发育的断控坡折, 东部为逆冲断裂强烈活动控制的断块褶皱。沿构造带走向共有七类上盘变形样式: 宽缓背斜、前陡后缓不对称背斜、高角度断控坡折-I、高角度断控坡折-II、背冲断层控制的不对称断背斜、单向逆冲断层控制的不对称断背斜、对冲断层控制的强烈褶皱。

(2) 断裂滑动作用的方式和强度决定了断裂带及其上盘相关褶皱的构造样式。以中古 15 井、中古 21 井为间隔, 根据塔中 I 号构造带的运动学特征可将其分为三段: 西段主要受 NE 向挤压力控制, 断裂短距离滑动逆冲和地层旋转变形导致 H/h 值最大; 中段主要受 NW—SE 向剪切力控制, 断裂沿走向滑动导致地层落差小、上盘变形程度弱, H/h 值最小; 东段主要受 NE 向与 SE 向挤压力控制, 断裂长距离滑动逆冲和强烈褶皱导致两盘地层落差与垂直断距较大, H/h 值介于中间。

(3) 两大造山带活动为塔中 I 号构造带分段提供了发育背景, 基底断裂与先存构造是造成塔中 I 号构造带分段发育的主因, NE 向走滑断裂是塔中 I 号构造带差异活动的表现, 对其分段变形的控制作用较弱。

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 吴鲜, 张继标. 2018. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系. 石油与天然气地质, 39(5): 878~888.
- 胡德胜. 2010. 塔里木盆地塔中隆起带主干断裂系统及其油气地质意义. 导师:任建业. 武汉:中国地质大学硕士学位论文, 1~79.
- 焦方正. 2017. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义. 石油与天然气地质, 38(5): 831~839.
- 李本亮, 管树巍, 李传新, 邬光辉, 杨海军, 韩剑发, 罗春树, 苗继军. 2009. 塔里木盆地塔中低凸起古构造演化与变形特征. 地质论评, 55(4): 521~530.
- 李传新, 贾承造, 李本亮, 杨庚, 杨海军, 罗春树, 韩剑发, 王晓峰. 2009. 塔里木盆地塔中低凸起北斜坡古生代断裂展布与构造演化. 地质学报, 83(8): 1065~1073.
- 李传新, 王晓丰, 李本亮. 2010. 塔里木盆地塔中低凸起古生代断裂构造样式与成因探讨. 地质学报, 84(12): 1727~1734.
- 李曰俊, 吴根耀, 孟庆龙, 杨海军, 韩剑发, 李新生, 董立胜. 2008. 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, 43(1): 82~118.
- 刘洛夫, 李燕, 王萍, 陈治军, 王维斌, 庞雄奇, 姜振学, 向才富, 杨海军, 韩剑发. 2008. 塔里木盆地塔中地区 I 号断裂带上奥陶统良里塔格组储集层类型及有利区带预测. 古地理学报, 10(3): 221~230.
- 任建业, 张俊霞, 阳怀忠, 胡德胜, 李朋, 张云鹏. 2011. 塔里木盆地中央隆起带断裂系统分析. 岩石学报, 27(1): 219~230.
- 沈卫兵, 庞雄奇, 陈践发, 王阳洋, 张科, 贾颖超, 罗广平. 2018. 塔里木盆地塔中 II 区奥陶系油气差异性分布及其主控因素分析. 地质论评, 64(4): 913~926.
- 汤良杰, 漆立新, 邱海峻, 云露, 李萌, 谢大庆, 杨勇, 万桂梅. 2012. 塔里木盆地断裂构造分期差异活动及其变形机理. 岩石学报, 028(8): 2569~2583.
- 王洪浩, 李江海, 孙唯童, 程雅琳. 2016. 塔中隆起深层构造样式及其成因探讨. 天然气技术与经济, (1): 23~27.
- 王毅, 张仲培, 张波, 云金表, 刘士林, 宋海明. 2014. 塔里木盆地巴楚地区大型膝褶带的发现及油气勘探意义. 石油与天然气地质, 35(6): 914~924.
- 邬光辉, 黄广建, 王振宇, 董立胜, 董瑞霞. 2007. 塔中奥陶系生物礁地震识别与预测. 天然气工业, 27(4): 40~42.
- 邬光辉, 李启明, 张宝收, 董立胜, 张亚光, 张欢庆. 2005. 塔中 I 号断裂坡折带构造特征及勘探领域. 石油学报, 26(1): 27~30.
- 邬光辉, 杨海军, 屈泰来, 李浩武, 罗春树, 李本亮. 2012. 塔里木盆地塔中隆起断裂系统特征及其对海相碳酸盐岩油气的控制作用. 岩石学报, 28(3): 87~99.
- 杨海军, 邬光辉, 韩剑发, 王晓丰, 吉云刚. 2007. 塔里木盆地中央隆起带奥陶系碳酸盐岩台缘带油气富集特征. 石油学报, 28

- (4): 26~30.
- 阳怀忠. 2010. 塔里木盆地中央隆起带隆坳格局变迁及其构造控制机制分析. 导师:任建业. 武汉:中国地质大学博士学位论文, 11~113.
- 余一欣, 黄太柱, 汤良杰, 陈绪云, 崔泽宏. 2010. 塔里木盆地塔中低凸起内部构造变形特征. 现代地质, 24(6): 1426~1434.
- 张继标, 张仲培, 汪必峰, 邓尚. 2018. 塔里木盆地顺南地区走滑断裂派生裂缝发育规律及预测. 石油与天然气地质, 39(5): 955~963.
- 张振生, 李明杰, 刘社平. 2002. 塔中低凸起的形成和演化. 石油勘探与开发, 29(1): 28~31.
- 张仲培, 王毅, 云金表, 周波, 赵泽辉, 郑孟林. 2009. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制. 石油与天然气地质, 30(3): 316~323.
- Deng Shang, Li Huili, Zhang Zhongpei, Wu Xian, Zhang Jibiao. 2018&. Characteristic of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 39(5): 878~888.
- Han Xiaoying, Deng Shang, Tang Liangjie, Cao Zichen. 2017. Geometry, kinematics and displacement characteristics of strike-slip faults in the northern slope of Tazhong uplift in Tarim Basin: A study based on 3D seismic data. Marine & Petroleum Geology, 88: 410~427.
- Hu Desheng. 2010&. Research on the main fault systems and their implication to petroleum geology in Tazhong Uplift area. Supervisor: Ren Jianye. Wuhan: Master degree dissertation of China University of Geosciences, 1~79.
- Jiao Fangzheng. 2017&. Significance of oil and gas exploration in the northeast strike-slip fault zone of the Shuntuogoule area, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 38(5): 831~839.
- Lan Xiaodong, Lü Xiuxiang, Zhu Yanming, Yu Hongfeng. 2015. The geometry and origin of strike-slip faults cutting the Tazhong low rise megaanticline (central uplift, Tarim Basin, China) and their control on hydrocarbon distribution in carbonate reservoirs. Journal of Natural Gas Science & Engineering, 22(3): 633~645.
- Li Benliang, Guan Shuwei, Li Chuanxin, Wu Guanghui, Yang Haijun, Han Jianfa, Luo Chunshu, Miao Jijun. 2009&. Paleo-tectonic evolution and deformation features of the lower uplift in the central Tarim Basin. Geological Review, 55(4): 521~530.
- Li Chuanxin, Jia Chengzao, Li Benliang, Yang Geng, Yang Haijun, Luo Chunshu, Han Jianfa, Wang Xiaofeng. 2009&. Distribution and Tectonic Evolution of the Paleozoic Fault System, the North Slope of Tazhong Uplift, Tarim Basin. Acta Geologica Sinica, 83(8): 1065~1073.
- Li Chuanxin, Wang Xiaofeng, Li Benliang. 2010&. Paleozoic faulting structure style of the Tazhong Lou Uplift, Tarim Basin and its mechanism. Acta Geologica Sinica, 84(12): 1727~1734.
- Li Yuejun, Wu Genyao, Meng Qinglong, Yang Haijun, Han Jianfa, Li Xinsheng, Dong Lishen. 2008&. Fault systems in central area of the Tarim Basin: geometry, Kinematics and dynamic settings. Chinese Journal of Geology, 43(1): 82~118.
- Liu Luofu, Li Yan, Wang Ping, Chen Zhijun, Wang Weibin, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, Xiang Caifu, Yang Haijun, Han Jianfa. 2008&. Reservoir types and favorable oil—gas exploration zone prediction of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong No. 1 fault belt of Tarim Basin. Journal of Palaeogeography, 10(3): 221~230.
- Ren Jianye, Zhang Junxia, Yang Huaizhong, Hu Desheng, Li Peng, Zhang Yunpeng. 2011&. Analysis of fault systems in the Central uplift, Tarim Basin. Acta Petrologica Sinica, 27(1): 219~230.
- SHEN Weibing, PANG Xiongqi, CHEN Jianfa, WANG Yangyang, ZHANG Ke, JIA Yingchao, LUO Guangping. 2018&. Differential Hydrocarbon Distribution and Its Key Controlling Factor, Tazhong II Area, NW China. Geological Review, 64(4): 913~926.
- Tang Liangjie, Qi Lixin, Qiu Haijun, Yun Lu, Li Meng, Xie Daqing, Yang Yong, Wan Guimei. 2012&. Poly-phase differential fault movement and hydrocarbon accumulation of the Tarim Basin, NW China. Acta Petrologica Sinica, 028(08): 2569~2583.
- Wang Honghao, Li Jianghai, Sun Weitong, Cheng Yalin. 2016&. Deep tectonic style and its origin, Tazhong Uplift. Natural Gas Technology and Economy, (1): 23~27.
- Wang Yi, Zhang Zhongpei, Zhang Bo, Yun Jinbiao, Liu Shilin, Song Haiming. 2014&. Discovery of large kink-band structures and petroleum exploration implications in Bachu area, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 35(6): 914~924.
- Wu Guanghui, Huang Guangjian, Wang Zhenyu, Dong Lisheng, Dong Ruixia. 2007&. The seismic identification and prediction of the reef in the Ordovician of the central Tarim Basin. Natural Gas Industry, 27(4): 40~42.
- Wu Guanghui, Li Qiming, Zhang Baoshou, Dong Lisheng, Zhang Yaguang, Zhang Huanqing. 2005&. Structural characteristics and exploration fields of No. 1 faulted slope break in Tazhong area. Acta Petrologica Sinica, 26(1): 27~30.
- Wu Guanghui, Yang Haijun, He Shu, Cao Shujuan, Liu Xxing, Jing Bin. 2016. Effects of structural segmentation and faulting on carbonate reservoir properties: A case study from the central uplift of the Tarim Basin, China. Marine & Petroleum Geology, 71: 183~197.
- Wu Guanghui, Yang Haijun, Qu Tailai, Li Haowu, Luo Chunshu, Li Benliang. 2012&. The fault system characteristics and its controlling roles on marine carbonate hydrocarbon in the central uplift Tarim basin. Acta Petrologica Sinica, 28(3): 87~99.
- Yang Haijun, Wu Guanghui, Han Jianfa, Wang Xiaofeng, Ji Yungang. 2007&. Characteristics of hydrocarbon enrichment along the Ordovician carbonate platform margin in the central uplift of Tarim Basin. Acta Prtrolei Sinica, 28(4): 26~30.
- Yang Huaizhong. 2010&. Research on uplift depression framework revolution and its tectonic control mechanism in the Central Uplift Belt, Tarim Basin. Supervisor: Ren Jianye. Wuhan: Doctor degree dissertation of China University of Geosciences, 11~113.
- Yu Yixin, Huang Taizhu, Tang Liangjie, Chen Xuyun, Cui Zehong. 2010&. Internal structural deformation of the Tazhong Lower Uplift, Tarim Basin. Geoscience, 24(6): 1426~1434.
- Zhang Jibiao, Zhang Zhongpei, Wang Bifeng, Deng Shang. 2018&. Development pattern and prediction of induced fractures from strike-slip faults in Shunnan area, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 39(5): 955~963.
- Zhou Xinyuan, Pang Xiongqi, Li Qiming, Pang Hong, Xiang Caifu, Jiang Zhenxue, Li Sumei, Liu Luofu. 2010. Advances and problems in hydrocarbon exploration in the Tazhong area, Tarim Basin. Petroleum Science, 7(2): 164~178.
- Zhang Zhensheng, Li Mingjie, Liu Sheping. 2002&. Generation and evolution of Tazhong low uplift. Petroleum Exploration and Development, 29(1): 28~31.
- Zhang Zhongpei, Wang Yi, Yun Jinbiao, Zhou Bo, Zhao Zehui, Zheng Mengli. 2009&. Control of faults at different evolution stages on hydrocarbon accumulation in Tazhong area, the Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 30(3): 316~323.

Kinematic characteristics and genesis analysis of segmental deformation in Tazhong No. 1 structural belt, Tarim Basin

ZHANG Zhongpei¹⁾, WANG Luyao²⁾, DENG Shang¹⁾, WEI Huadong³⁾, ZHANG Jibiao¹⁾

1) Petroleum Exploration and production research institute, SINOPEC, Beijing, 100083;

2) Changqing Oilfield Branch Company Ltd., CNPC, Xi'an, Shaanxi, 710018;

3) Northwest Oilfield Branch Company Ltd., SINOPEC, Urumqi, Xinjiang, 830011

Objectives: Tazhong No. 1 structural belt shows segmentation along strike which reflected directly by differentiation change in tectonic deformation patterns and activity intensity of it, but the kinematic characteristics and genesis of segmental deformation are still not clear, which need to be studied deeply.

Methods: In this paper, based on the two-dimensional and three-dimensional seismic data, the geometric and kinematic characteristics of the Tazhong No. 1 structural belt are studied through fine structural analysis, statistics of kinematic parameters and determination of active stages. Besides that, the segmental deformation mechanism is analyzed and segmental controlling factors are also discussed.

Results: Through fine structural analysis of 91 seismic profile, it shows that there are 7 kinds of deformation patterns of hanging-wall along Tazhong No. 1 structural belt striking. The width, vertical displacement and throw show 3-segment character along striking of Tazhong No. 1 structural belt with being largest in the east, followed by the west and the smallest in the middle, all the same.

Conclusions: The tectonic deformation patterns and kinematic characteristics of Tazhong No. 1 structural belt can be divided into three segments with Well Zhonggu 15 and Well Zhonggu 21 being the boundary. The main active mechanism of the western section is the short-distance slipping thrust and the rotational deformation of the stratum. The ratio of throw and vertical displacement of the same horizon (H/h) is the largest; the main active mechanism of the middle section is the strike slipping, and the H/h ratio is about 1; the main active mechanism of the east section is the long-distance slipping thrust and intense fold, with the H/h ratio between the two. The difference of the activity mechanism leads to different structural styles of each section, which are fault-related fold controlled by the basement-involved thrust fault, the fault-controlled slope break with the strike-slip fault developing, and the block fold controlled by the intense activity of the thrust fault. The activity intensity of three segments is the largest in the east, followed by the west and the smallest in the middle. The multistage activities of the west Kunlun orogenic belt and the Altyn orogenic belt provided the development background for the segmental deformation of the Tazhong No. 1 structural belt. The basement structure and pre-existing faults play as the main controlling factors for the segmentation. The NE-trending strike-slip faults adjust thrust activity of the structural belt, and play as associated faults.

Keywords: Tarim Basin; Tazhong No. 1 structural belt; geometric characteristic; kinematic characteristic; segmental deformation; fracture characteristic

Acknowledgements: This research was supported by Sinopec Foundation Prospective Research Project of Structural Analysis and Physical and Numerical Simulation of Central Uplift in Tarim Basin (No. P15089)

First author: Zhang Zhongpei, male, born in 1974, senior engineer, mainly engaged in structural geology and petroleum geology survey; Email: zhzhp.syky@sinopec.com

Corresponding author: WANG Luyao, female, born in 1993, engineer, mainly engaged in structural geology survey; Email: 732014437@qq.com

Manuscript received on: 2019-11-24; Accepted on: 2020-04-23; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.04.007