

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

科技述评

山前冲断构造带研究的新进展

罗金海 李继亮

(中国科学院地质研究所, 北京, 100029)

何登发

(石油勘探开发科学研究院地质研究所, 北京, 100083)

内容提要 本文通过对山前冲断构造带研究中的几个新思路和新方法的简要介绍表明, 山前冲断构造带的前锋带普遍发育与各种类型断层相关褶皱或(和)三角带构造。冲断断面的多次转折将使上盘地层中的褶皱复杂化, 其复杂性可以用与断面转折点相关的褶皱轴面来描述。在有基底参与的冲断构造带中, 尽管上盘与下盘有较大的构造高差, 但盖层完全可能是连续的。生长地层不仅可以用于确定构造发育的时间, 还可以用于定量地计算褶皱生长速率和冲断速率。在冲断层两侧看似牵引构造的褶皱实际上可能是破裂冲断构造。

关键词 山前冲断构造带 多转折断层转折褶皱 前陆基底卷入型构造 生长地层 三角带

山前冲断构造带位于造山带与前陆盆地的结合部位, 其特殊的构造位置使其在盆地与造山带的研究中具有重要意义。较强的构造活动性又为石油和天然气的运移提供了动力, 从而使山前构造带成为油气富集成藏的有利部位, 这已为大量的勘探实践所证实(如北美落基山山前、西亚扎格罗斯山前、中国天山山前等)。此外, 山前冲断带的构造活动还可能对位于冲断带上的城市(如美国洛杉矶市)造成地震威胁^[1]。由于这些原因, 近十几年来, 对山前冲断构造带的研究非常活跃, 已建立起关于这个构造带的与断层相关褶皱理论及其它理论。实践证明, 这些理论在山前冲断构造带的研究中具有重要的指导作用。

与断层相关的褶皱理论的主要内容包括断层转折褶皱作用(fault-bend folding)^[2]、断层传播褶皱作用(fault-propagation folding)^[3]和滑脱褶皱作用(detachment folding)^[4]。断层转折褶皱作用是当上盘断块沿非平板状断层面滑动时发生弯曲的一种褶皱作用; 断层传播褶皱作用是正在向上扩展的冲断层前端上方地层由于吸收了下伏断层的位移量而形成褶皱的过程; 强硬岩层由于下伏塑性层中的断层滑动而形成褶皱的过程是断层滑脱褶皱作用(图1)。这3种褶皱作用机制的理论目前已比较成熟, 它们也是山前冲断构造带中形成褶皱的主要机制(此外还有重力滑动构造等)。

从运动学角度来说, 山前冲断构造带实际上是由于山体隆升的同时, 造山带向山前的冲断位移量发生转移而形成的构造。因此, 造山带向山前冲断位移量的不同消耗方式导致山前构造带的不同构造样式。当然, 地层的强度、冲断速率等因素也会影响山前冲断带的具体形态。

注: 本文为中国科学院重点科研项目(编号 KZ952-S1-428)资助的研究成果。

本文1998年11月收到, 1999年2月改回, 任希飞编辑。

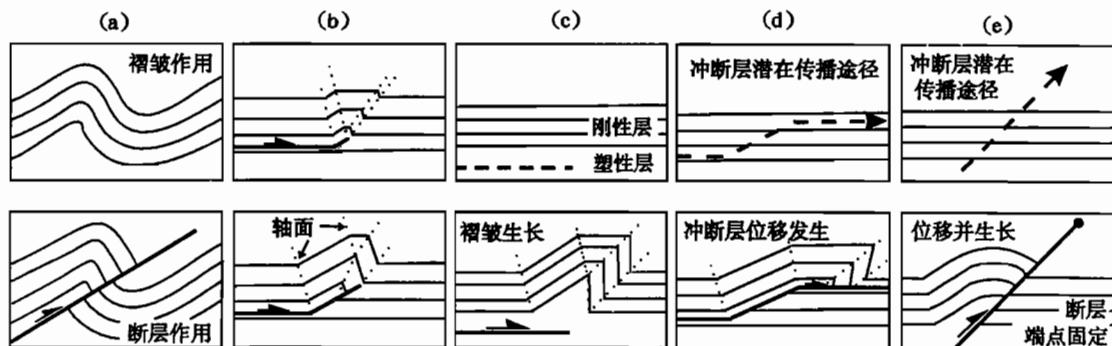


图1 与冲断层相关的褶皱作用的不同类型(据 Thorbjornsen 等^[5])

Fig. 1 Different models of thrust-related folding (after Thorbjornsen et al. ^[5])

(a)—破裂冲断褶皱;(b)—断层传播褶皱;(c)—断层滑脱褶皱;(d)—断层转折褶皱;(e)—断层受阻褶皱

(a)—Break-thrust fold;(b)—fault-propagation fold;(c)—detachment fold;(d)—fault-bend fold;(e)—fault-arrest fold

近10年来,一些新思路和新方法在山前冲断构造带的研究中已经发挥了越来越重要的作用。这些新方法有的是90年代以后才提出的,有的虽然提出较早,但近10年来却得到了新的发展,它们主要包括:①多转折断层转折褶皱理论;②利用生长地层定量地测算褶皱生长速率、冲断速率及确定构造活动时间等;③前陆基底卷入型构造;④三角带构造。

1 多转折断层转折褶皱作用

断层转折褶皱作用理论最初是由 Suppe^[2]提出的,其主要内容是当非平板状断层的两侧块体相互滑动时,由于岩石的强度不允许上盘断块与断面之间存在较大的空洞,上盘在滑动时必须与断面紧密接触,从而使上盘断块在断层转折处(断坡)上方发生扭曲变形而形成褶皱(图1d)。由这种褶皱作用机制形成的褶皱往往呈具平顶的宽缓褶皱。

在山前冲断构造带中,由于岩层强度的不均匀性,冲断层的断面在向上穿越不同的岩层时发生转折的情况是完全可能的。因此,断层转折褶皱作用理论无疑是正确的,这也得到了大量实际构造的证实。

但是,前陆地带的岩层往往是强硬岩层与塑性层沿剖面方向反复出现,断面在穿过这些岩层时可能会发生多次转折。在这种情况下,断面的每一次转折都会在上盘岩层中形成相应的褶皱构造,由不同断面转折端形成的褶皱构造必然会发生相互干扰,由此将导致褶皱形态复杂化,如图2中断面发生6次转折,形成3个断坡。图示褶皱之间复杂的干扰构造,上盘岩层总体呈箱状褶皱形态。

褶皱的轴面可以用来描述褶皱之间的干扰情况。在 Suppe^[2]最初的断层转折褶皱作用理论中,上盘地层中存在4个轴面(图1d),随着冲断活动的

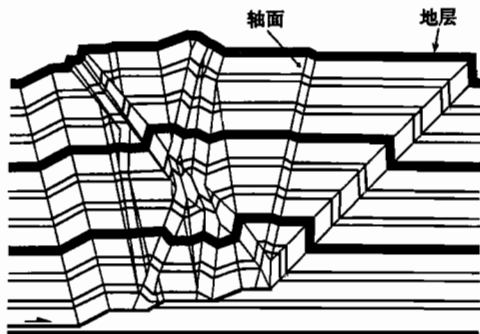


图2 多转折断层转折褶皱模型

(据 Medwedeff 等^[6])

Fig. 2 Complex interference structures generated by a three-step ramp (after Medwedeff et al. ^[6])

持续进行,褶皱的规模逐渐扩大,但不再出现新的轴面。在多转折断层转折褶皱作用(multi-bend fault-bend folding)理论中,褶皱轴面数(m)与断面转折点数(n)之间具有如下关系^[6]:

$$m \approx \frac{3}{4}n^4 + \frac{3}{2}n^3 + \frac{1}{4}n^2 - \frac{1}{2}n$$

由此可见,轴面数是断面转折次数的四次方函数,说明褶皱构造的总体形态将极大地受到断面转折数的影响。

2 生长地层的应用

生长地层(growth strata)是在冲断活动的同时沉积的地层,又称同沉积地层。长期以来,正断层上盘的生长地层得到了充分的重视,但对与逆冲断层相关的、与断层相关褶皱生长同时的生长地层则没有得到足够的重视。

现有资料表明,山前冲断构造带往往都是长期活动的,前陆地带又是沉积作用比较发育的构造部位。因此,生长地层在山前冲断构造带中普遍发育。

由于生长地层是在构造活动的同时形成的,其构造形态含有构造活动的信息,被誉为关于局部构造运动学历史的灵敏的指示器^[7]。在地壳上部的断层转折褶皱作用、断层传播褶皱作用和滑脱褶皱作用中,褶皱通常都是以膝折带(翼宽)迁移的方式生长^[2,3,8],仅在少数情况下是以翼部旋转的方式生长的。由于这个原因,褶皱的翼长将随着褶皱的生长而增加,同时翼倾角保持不变。因此,如果在褶皱生长期间有沉积作用发生,则在生长地层范围内,褶皱的翼长将向上减小(因为下部地层的增加幅度比上部地层的增加幅度大),于是就形成一个三角形的生长地层区域,被称之为生长三角(growth triangle),这也是在地震剖面上识别生长地层的一个重要标志(图 3)。图 3 中的剖面位于塔里木盆地西部吐木休克断裂带上(NS-87-400)。图中恒定宽度膝折带的顶界是生长地层与前生长地层的界线,三角形态是生长地层的重要特征之一。对生长三角的形成过程也可以从另一方面来理解:在大多数挤压型断层转折褶皱中,每一生长地层在倾向上的宽度不超过其下伏地层沉积之后断层倾向滑距的 10%。这样,断层活动早期形成的膝折带(翼部)比晚期形成的翼部要宽一些,于是就在断层转折端上方形成一个向上变窄的三角形生长地层区域,这就是生长三角^[1]。

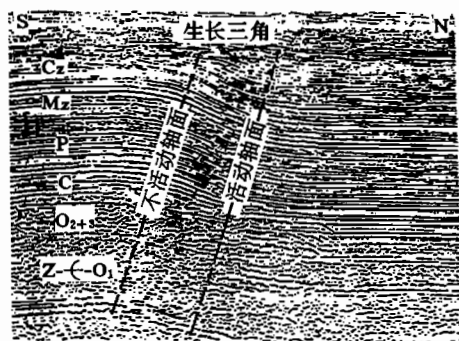


图 3 地震剖面上向上变窄的生长三角
(据贾承造等^[9])

Fig. 3 Seismic profile of an upward narrowing kink band within growth strata, Tumuxiuk, Tarim (after Jia Chengzao et al. ^[9])

Z—震旦系;←—寒武系;O₁—下奥陶统;O₂₊₃—中—上奥陶统;C—石炭系;P—二叠系;M₂—中生界;C₂—新生代

Z—Sinian; ←—Cambrian; O₁—Lower Ordovician; O₂₊₃—Middle-Upper Ordovician; C—Carboniferous; P—Permian; M₂—Mesozoic; C₂—Cenozoic

生长三角内部地层单元的形成时代和翼宽可以用来测算翼部的扩展速率和褶皱生长速率^[8]。在滑脱面之间有简单断坡的情况下,断层滑动速率在倾向方向上的分量等于翼宽变化量与形成该翼宽变化量的时间之比(图 4)。在同一生长三角中至少两套地层(如 X 层和 Y 层)的形成时代已知的情况下,褶皱翼部加宽的速率($\Delta L/\Delta T$,或平均断层滑动速率)是可以测定的:平均断层滑动速率为: $\frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{L_x - L_y}{T_x - T_y}$,生长轴面由于两侧地层厚度有变化而不平分褶皱翼间角。对褶皱

生长三角内部地层单元的形成时代和翼宽可以用来测算翼部的扩展速率和褶皱生长速率^[8]。在滑脱面之间有简单断坡的情况下,断层滑动速率在倾向方向上的分量等于翼宽变化量与形成该翼宽变化量的时间之比(图 4)。在同一生长三角中至少两套地层(如 X 层和 Y 层)的形成时代已知的情况下,褶皱翼部加宽的速率($\Delta L/\Delta T$,或平均断层滑动速率)是可以测定的:平均断层滑动速率为: $\frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{L_x - L_y}{T_x - T_y}$,生长轴面由于两侧地层厚度有变化而不平分褶皱翼间角。对褶皱

生长速率的计算过程如下^[8]:在生长三角内部,在时间 t 内,翼长 L 除以生长地层厚度 T_b 即可得到一个无量纲生长速率: $G = \frac{L}{T_b}$ 。

对每一生长地层段 δT_b 有 $G = \frac{\delta L}{\delta T_b}$ 。若能确定生长地层中标志层的时间范围 $\Delta \delta t$,则褶皱的绝对生长速率(G_a)为:

$$G_a = \frac{\delta L}{\delta t} = G \frac{\delta T_b}{\delta t}$$

(式中 $\frac{\delta T_b}{\delta t}$ 为沉积速率)。这说明,在生长地层

沉积期间,褶皱的绝对生长速率 G_a 是沉积速率的函数,无量纲生长速率 G 是褶皱生长速率的几何表述。例如,加里福尼亚圣·巴巴

拉海峡一个构造^[8]的翼长为2.5 km,生长地

层厚度为2.1 km,无量纲生长速率(G)为1.2,生长地层沉积的时间范围为2~4 Ma,则绝对褶皱生长速率(G_a)约为0.6~1.3 mm/a。类似地,Burbank等^[10]利用同沉积地层确定了比利牛斯中南部冲断作用的活动时间,并测算了地壳缩短速率。Zapata等^[7]对阿根廷中部贝尔梅霍前陆盆地中与冲断相关的生长地层的研究表明,冲断带内东部的前科迪勒拉构造开始于2.7 Ma之前,尼奎威尔背斜的抬升速率约为0.3 mm/a,拉斯·萨里拉斯背斜的抬升速率约在0.6 mm/a与0.38 mm/a之间。Meigs等^[11]则以生长地层为手段研究了南比利牛斯造山楔的发育过程。

Poblet等^[12]以滑脱褶皱为例说明,不同的运动学过程可以形成几何形态完全相同的终构造,但生长地层的特征则是不同的。换句话说,褶皱的几何形态与褶皱的运动学之间并不具有严格的一一对应关系。根据一个褶皱构造的几何形态来反推其形成过程时可能具有多解性。在这种情况下,与构造发育过程相关的生长地层可以用来排除这些多解性。

生长地层是在构造活动的同时形成的,显然可以用来判定构造发育的主要时间。对一个发育生长地层的构造,前生长地层中的变形作用应当开始于生长地层形成之前。何登发等^①利用生长地层并结合其它资料的分析说明,西昆仑北缘山前冲断构造带的主体在始新世末—渐新世初就位。这与始新世末印度板块与欧亚板块碰撞的区域构造背景是一致的。

3 前陆基底卷入型构造

前陆基底卷入型构造(foreland basement-involved structure)是山前冲断构造带中常见的一种构造类型,常以狭长的不规则链状隆起带的形式出现在前陆盆地中^[13],它是在盖层或盖层—基底分界面附近(包括少量基底岩石)由基底主断层的位移向上传递而形成的构造。由于同时涉及到基底和盖层这两套岩石力学性质差异较大的地层,基底主断层的位移量在向上传递的过程中,盖层和盖层—基底分界面附近对主断层位移量的响应比较复杂。

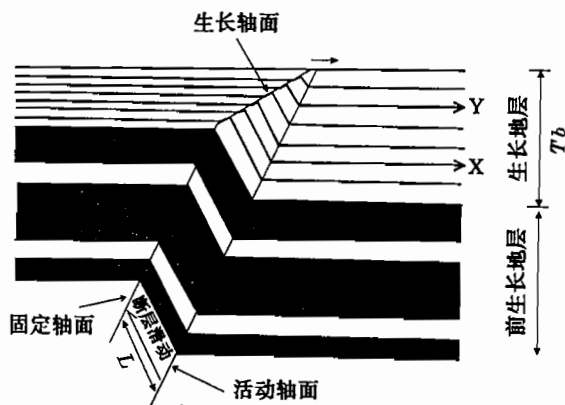


图4 冲断断坡之上向上变窄的膝折带或生长三角模型(据 Suppe 等^[8]和 Shaw 等^[1]综合)

Fig. 4 Model of the upward narrowing kink band or growth triangle (after Suppe et al. ^[8]Shaw et al. ^[1])

① 何登发等. 和田区块南部山前带构造特征与油气区带研究(研究报告). 1998.

一般认为,在前陆基底卷入型构造中,基底主断层的位移量向上传递的可能机制主要有 3 种:① 三角变形带发育于基底断层末端上方的沉积盖层中(图 5a);② 以基底中大量次级断层为特征的变形带(图 5b);③ 三角变形带发育于特定深度的基底中(图 5c)。此外,在基底主断层发生多次转折的情况下,前陆基底卷入型构造不仅具有基底卷入型构造的一般特征,还遵循多转折断层转折褶皱作用理论^[14]。

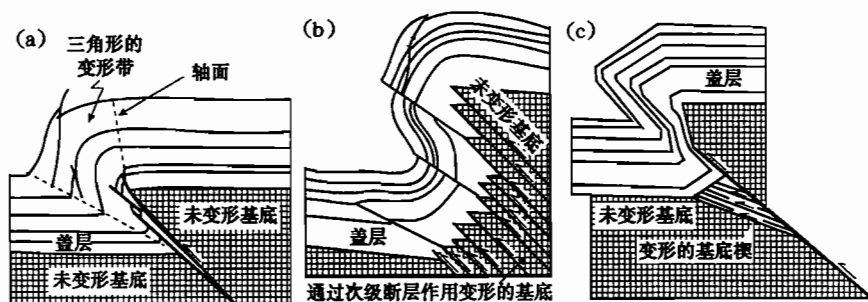


图 5 在褶皱—冲断模型中,把主断层位移量转移到变形带的可能机制(据 Mitra 等^[14])

Fig. 5 Possible mechanism transferring the displacement to the deforming zone (after Mitra et al. ^[14])

(a) 三角形变形带发育于基底断层末端上方的沉积盖层中(据 Erslev^[15]); (b) 以基底中大量次级断层为特征的变形带(据 Spang 等^[16]); (c) 三角变形带发育于特定深度的基底中,盖层通过挠曲滑动变形(据 Narr 等^[17])

(a) Triangular deformation zone develops in sedimentary cover above the tip of the basement fault (after Erslev^[15]); (b) Deformation zone characterized by a large number of minor faults in the basement (after Spang et al. ^[16]); (c) Deformation zone develops above a specific depths in the basement (after Narr et al. ^[17])

在剖面上,前陆基底卷入型构造的主变形带往往呈一个向上变宽的三角形区域,由于该带内地层倾角通常较大,对地震波的反射不明显。因此,前陆基底卷入型构造在地震剖面上通常具有多解性(图 6)。

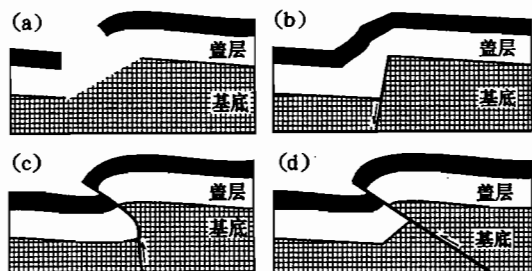


图 6 关于前陆基底卷入型构造成因的主要模型(据 Mitra 等^[14])

Fig. 6 Main models for the genesis of the foreland basement-involved structure (after Mitra et al. ^[14])

(a) 基底卷入型构造在地震剖面上的典型情况; (b) 披覆或强制褶皱作用模型; (c) 上冲模型; (d) 褶皱—冲断模型

(a) Typical data available through basement structure; (b) Drape or forced-fold model; (c) upthrust model; (d) fold-thrust model

在前陆基底卷入型构造的研究中,值得注意的是,基底主断层延长线所在的盖层区域在反射地震剖面上通常呈信号较差的带状而极易被错误地解释为断裂带(如在图 6c 中主断层的延长线方向上)。但在 Mitra 等^[14]提供的美国怀俄明州大角盆地东草溪构造中,一口钻井钻穿了陡倾的差反射带而没有钻遇断层,仅是地层的倾角较大而已。这说明,在前陆基底卷入型构造中,在反射地震剖面上看似断裂的差反射带实际上可能是褶皱构造陡倾的前翼(即指向前陆方向的那一翼),沉积地层在那里完全可以是连续的。大角盆地中的其它几个前陆基底卷入型构造也有类似表现。因此,对前陆基底卷入型构造而言,在地震剖面上解释断裂构造时需要十分慎重。当然,如果基底主断层的位移量在

此变形阶段之后仍继续增加,当褶皱变形已不足以调节断层的位移量时,基底主断层完全可能沿着差反射带切穿整个构造,这时将形成破裂冲断构造^[18,19](break-thrust structure)。这种构造也经常发育在断层传播褶皱中。在这种情况下,原来的断层相关褶皱将貌似牵引构造,而实际上它们并非真正的牵引构造。

4 三角带构造

三角带构造(triangle zone)是山前冲断构造带中前锋带上常见的构造类型,与通常所说的反冲断层有关。本世纪50年代后期,研究加拿大南部科迪勒拉山前变形带的地质学家注意到,在近地表处,东倾和西倾的反射界面同时存在,而在深部反射界面则是平坦的。于是在地震剖面上就出现了一个内部反射杂乱的三角形区域,这个三角形区域就逐渐地被认为是三角带构造^[20]。后来人们认识到,西倾的反射界面就是指向前陆的冲断层,东倾反射界面则是指向后陆方向的反冲断层。到80年代中后期,在世界上许多造山带的山前都已识别出了三角带构造。西昆仑北缘的冲断构造带中也存在此类构造^[21]。

自从三角带构造被识别出来以后,对其形成机制的认识经历了一个变化过程。早期的地质学家认为,指向前陆和指向后陆的冲断层分别由两次变形作用形成。现在一般倾向于认为三角带构造是在同一次递进的前陆冲断活动中形成的,是冲断构造带的前锋受阻后对冲断位移量的一种反向调节方式。长期以来,在三角带研究中的一个最基本分歧是:三角带构造仅发育于冲断带演化的最终阶段,还是一个不断形成新的变形构造带的过程。目前似乎有较多的证据支持后一种观点^[22]。这说明,三角带构造的出现并不意味着山前冲断构造带发育过程的终结,还有可能形成新的构造类型。

三角带构造的样式多种多样,但总体上有两种基本类型^[23]:褶皱型(I型)和冲断型(II型)。褶皱型三角带仅与单个滑脱面有关,常与滑脱褶皱的核部相联系^[24];冲断型三角带与两个或多个滑脱面有关,常见于被动顶板双重构造的前缘^[25](图7)。

三角带构造中的反冲断层由于倾向前陆,在后期容易被重力滑动构造改造,因为区域规模的三角带构造可以提供重力滑动的高差,而重力滑动则可以在其前缘形成三角带。因此,三角带构造可以是重力滑动的原因,对不同规模的三角带来说也可能是由重力滑动形成^[22]。在天山北缘和印度尼西亚^[26]境内的重力滑动构造都或多或少地与三角带构造有关。

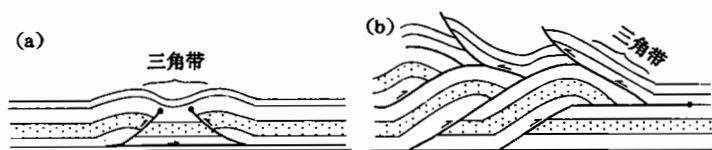


图7 三角带构造的两种基本类型(据 Couzens 等^[23])

Fig. 7 Two kinds of the triangle zone (after Couzens et al. ^[23])

(a)—I型(褶皱型)(据 McClay^[24]); (b)—II型(冲断型)(据 Banks et al. ^[25])

(a)—Fold-dominated triangle zone(after McClay^[24]); (b)—thrust-dominated triangle zone (after Banks et al. ^[25])

5 结语

(1)山前冲断构造带前锋带对冲断位移量的吸收方式可以褶皱作用为主,也可以冲断作用为主,或者二者兼而有之。以褶皱作用为主的山前冲断构造带中发育各种类型的断层相关褶皱(fault-related fold),而以冲断作用为主的山前冲断构造带中则可能发育三角带构造。

(2) 冲断层断面的多次转折将使上盘地层中的褶皱构造复杂化,其复杂性可以用与断面转折端相关的轴面来描述。

(3) 与构造发育同时形成的生长地层作为构造发育历史的记录器可以用来确定构造发育的时间、计算褶皱的生长速率和冲断层的冲断速率。这对恢复山前冲断构造带乃至造山带的发育历史无疑具有重要意义。

(4) 在前陆基底卷入型构造中,虽然上盘与下盘之间有较大的高差,但上盘与下盘的盖层却完全有可能是连续的。

(5) 在逆冲断层两侧看似牵引构造的褶皱事实上可能并不是真正的牵引构造,它们可能是在构造发育的早期用以吸收冲断位移量的断层相关褶皱,后期因不足以完全吸收持续增加的位移量而被冲断层穿破形成的破裂冲断构造。

参 考 文 献

- Shaw J H, Suppe J. Earthquake hazards of active blind-thrust faults under the central Los Angeles basin, California. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(4): 8623~8642.
- Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, 1983, 283: 684~721.
- Suppe J, Medwedeff D A. Geometry and kinematics fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 1990, 83: 409~454.
- Jamison W R. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Journal of Structural Geology*, 1987, 9(2): 207~219.
- Thorbjornsen K L, Dunne W M. Origin of a thrust-related fold: geometric vs kinematics tests. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(3~4): 303~319.
- Medwedeff D A, Suppe J. Multibend fault-bend folding. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(3~4): 279~292.
- Zapata T R, Allmendinger R W. Growth stratal records of instantaneous and progressive limb rotation in the Precordillera thrust belt and Bermejo basin, Argentina. *Tectonics*, 1996, 15(5): 1065~1083.
- Suppe J, Chou T G, Stephen C H. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay K R. ed. *Thrust Tectonics*. London: Chapman & Hall, 1992. 105~121.
- Jia Chengzao et al. *Tectonic characteristics and petroleum Tarim basin China*. Beijing: Petroleum Industry Press. 1997. 245~249.
- Burbank D W, Verges J, Munoz J A, Benthall P. Coeval hindward- and forward-imbricating thrusting in the South Central Pyrenees, Spain: timing and rates of shortening and deposition. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104: 3~17.
- Meigs A J. Sequential development of selected Pyrenean thrust faults. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(3~4): 481~502.
- Poblet J, McClay K, Storti F, Munoz J A. Geometries of syntectonic sediments associated with single-layer detachment folds. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(3~4): 369~381.
- Rodgers J. Chain of basement uplifts within cratons marginal to orogenic belts. *American Journal of Science*, 1987, 287: 661~692.
- Mitra S, Mount V S. Foreland basement-involved structures. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(1): 70~109.
- Erslev E A. Trishear fault-propagation folding. *Geology*, 1991, 19(6): 617~620.
- Spang J H, E Evans J P, Berg R R. Balanced cross sections of small fold-thrust structures. *Mountain Geologist*, 1985, 22: 41~46.
- Narr W, Suppe J. Kinematics of basement-involved compressive structures. *American Journal of Science*, 1994, 294: 802~860.
- Fischer M P, Woodward N B, Mitchell M M. The kinematics of break-thrust folds. *J. of Str. Geol.*, 1992, 14: 451~460.
- Woodward N B. Low-amplitude evolution of break-thrust folding. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(3~4): 293~301.
- MacKay P A, Varsek J L, Kubli T E, et al. Triangle zones and tectonic wedges: an introduction. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1996, 44(2): 11~15.

- 21 贾承造,魏国齐,姚慧君.塔南志留—泥盆纪古逆冲构造带地质构造特征.见:董晓光,梁狄刚,贾承造主编.塔里木盆地石油地质研究新进展.北京:科学出版社,1996.217~224.
- 22 Jones P B. Triangle zone geometry,terminology and kinematics. Bulletin of Canadian Petroleum Geology,1996,44(2):139~152.
- 23 Couzens B A, Witschko D V. The control of mechanical stratigraphy on the formation of triangle zone. Bulletin of Canadian Petroleum Geology,1996,44(2):165~179.
- 24 McClay K R. Glossary of thrust tectonics terms. In:McClay K R. ed. Thrust Tectonics. London: Chapman & Hall,1992. 419~433.
- 25 Banks C J, Warburton J. "Passive-roof" duplex geometry in the frontal structures of the Kirthar and Sulaiman mountain belts, Pakistan. Journal of Structural Geology,1986,8:229~237.
- 26 Kemp G, Mogg W. A re-appraisal of the geology, tectonics and prospectivity of Seram Island, eastern Indonesia. 21st Annual Convention, Indonesian Petroleum Association, Proceedings. 1992. 521~552.

New Progress in the Study of the Foreland Thrust Structures

Luo Jinhai, Li Jiliang

(Institute of Geology, Chinese Academy of Science, Beijing, 100029)

He Dengfa

(Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing, 100083)

Abstract

New progress in the study of the foreland thrust structural zones shows that various kinds of fault-related folds and (or) triangle zones are common in the front zones of the thrust structural zones. The multibend thrusting usually complicates the folds in the hanging wall strata due to the interference structures, which can be described by the interference of the axial surfaces associated with the fault surface bend points. In the foreland basement-involved structures, although the considerable relief between the hanging wall and footwall may exist, the cover strata probably keep continuous. The growth strata can be used not only to determine the time of the structures, but also to calculate the rates of fold growth and thrusting. The folds which look like the drag folds near both sides of the thrusts actually may probably belong to the break-thrust structures.

Key words: foreland thrust structural zone; multibend fault-bend fold; foreland basement-involved structure; growth strata; triangle zone

作者简介

罗金海,男,1967年生.1992年在西北大学获构造地质学专业硕士学位,后留校执教,从事构造地质和区域地质的教学与科研工作.1996年至今在中国科学院地质研究所攻读构造地质学专业博士学位.通讯地址:710069,陕西省西安市西北大学地质系。