

塔北隆起北部叠加断裂构造特征与成因背景分析

崔泽宏^{1,2} 王志欣^{1,2} 汤良杰^{1,2}

(1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;
2. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要:塔北隆起在塔里木叠合盆地演化时期经历了古克拉通隆起、早期前陆前缘隆起、库车再生前陆盆地斜坡 3 个阶段。经过两期成盆构造变革阶段,塔北隆起北部垂向上叠加深、浅层两组断裂系统:深层断裂系统为基底逆冲断裂,发育冲断构造、背冲构造组合;浅层断裂系统为正断层,发育地堑、地垒构造样式组合。两组不同性质断裂系统的发育均对应于两期造山挤压背景下前陆盆地形成阶段。笔者认为,深层断裂并非是处于早期前陆变形区域,而是处于挤压背景下板内塔北古克拉通隆起“纵弯”构造变形中岩层破裂的结果。浅层断裂是库车再生前陆盆地阶段塔北隆起北部基底(前中生界构造层)受水平挤压翘曲变形(纵弯变形)导致上覆岩层引张破裂的结果。

关键词:叠合盆地; 构造变革; 叠加断裂; 纵弯变形; 基底翘曲

中图分类号:P542 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)03-0378-08

叠合盆地是经历多期构造变革,多个单型盆地经过多方位叠加复合形成的一个具有复杂结构的盆地^[1]。叠加断裂则是叠合盆地构造演化过程中多方位、不同强度古应力场复合叠加作用的最终结果。断裂在纵向上表现为不同时期构造变形相互叠加、交叉、改造,而多期活动断裂则是叠加断裂的一种特殊变形形式。勘探实践证明,叠加断裂是构成叠合盆地复式油气成藏要素的关键所在^[2-4]。塔北隆起北部深、浅层叠加断裂系统是不同成盆变革阶段构造变形的产物。明确叠加断裂的构造特征和成因背景有助于揭示盆地构造变革阶段盆内构造变形特征,同时探讨浅层断裂的成因机制对解释中国前陆盆地内部这种特殊引张构造变形的成因具有重要意义。

1 区域地质背景

塔北隆起是塔里木盆地的一级构造单元,北靠库车坳陷,南邻满加尔凹陷,西以喀拉玉尔滚断裂及柯吐尔断裂与阿瓦提凹陷分界,东与库鲁克塔格断隆为过渡关系(图 1)。塔北隆起构造近东西走向,东西长约 443 km,南北宽约 86 km,面积为 3.66×104 km²。塔北隆起为前侏罗纪隐伏古隆起,如今已成为库车再生前陆盆地北部斜坡带的一部分。在塔里木叠合盆地北部构造演化过程中,塔北隆起经历了两期构造性质的转换,根据盆地关键变革阶段原型盆地性质及不同原型盆地时期隆

起的构造变形特征可将塔北隆起演化划分为以下 3 个阶段。

(1) 克拉通古隆起阶段。塔北隆起的雏形最初出现在震旦纪^[5],以大面积隆升和剥蚀为主,构造变形不明显,志留—泥盆纪持续发展,隆起幅度进一步加大,志留—泥盆纪沉积向古隆起顶部超覆减薄,显示塔北古隆起的持续发育过程。泥盆纪,天山造山运动造成了塔北隆起带的大规模剥蚀,塔北隆起仍以宽缓隆起为基本特征,这一时期塔北隆起已基本定型。

(2) 早期前陆隆起阶段。晚二叠世开始,随着南天山褶皱带的形成,塔里木盆地北部已进入库车前陆盆地阶段。随着库车前陆地向南逐渐扩展。到三叠纪,塔北古克拉通隆起已演化成为前陆盆地的前缘隆起^[6]。

(3) 库车再生前陆盆地阶段。晚二叠世—三叠纪库车前陆盆地演化阶段之后,侏罗纪—古近纪塔北隆起就进入了稳定沉积(填平补齐)阶段。始新世末,受印度板块与欧亚板块碰撞的远距离构造效应影响,古天山再度复活,塔里木盆地北部进入了库车再生前陆盆地演化阶段。随着沉降、沉积中心南移及岩石圈挠曲波长增大,早期的塔北前缘隆起已演变为库车再生前陆盆地北倾斜坡地带的一部分^[7]。

笔者所指的塔北隆起北部主要位于轮台断隆构造带上,北部紧邻库车坳陷。在叠合盆地演化过程中,塔北隆起北部处于前陆与克拉通转换变形的关键区域。

收稿日期:2005-01-15;改回日期:2005-02-30

基金项目:国家“973”项目(G1999043305)和国家自然科学基金项目(40172076)资助。

作者简介:崔泽宏,男,1976年生,博士生,从事盆地构造分析与构造地质学领域研究;Email:cuizeh@163.com。

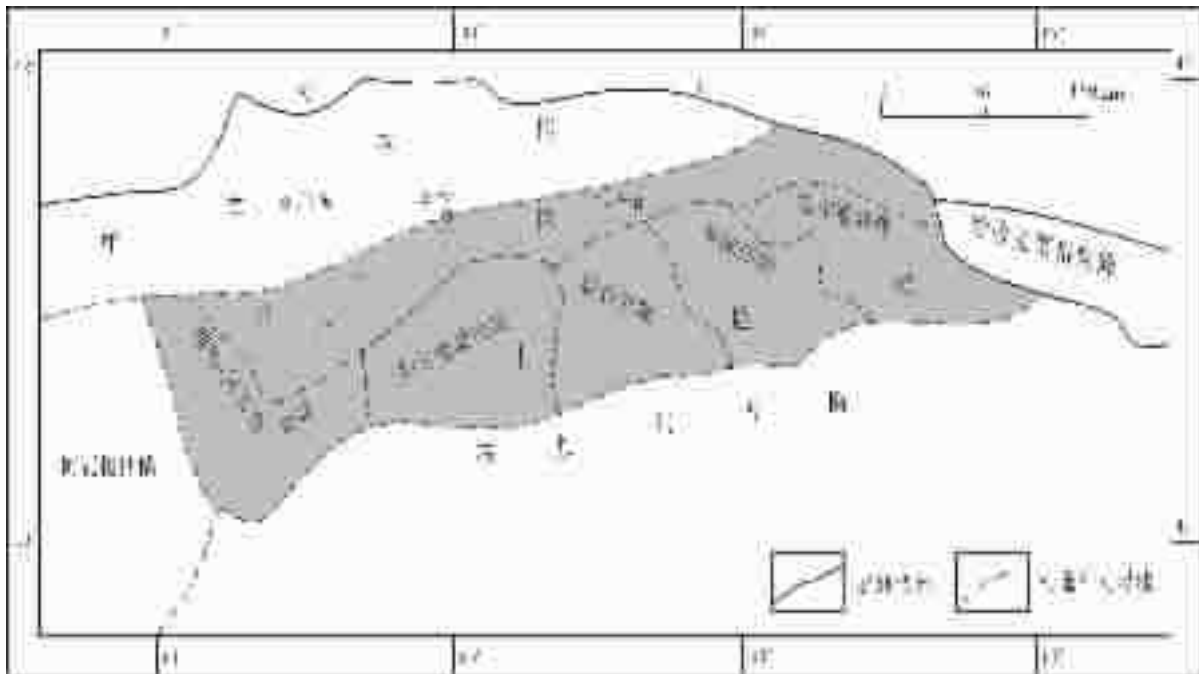


图 1 塔北隆起构造位置及构造单元划分

Fig. 1 Tectonic location and tectonic units of the Tabei uplift

2 断裂展布及构造样式

塔北隆起北部深、浅层断裂系统主要分布于轮台断隆构造带上。综合塔北隆起北部各层底界的构造层反射图(图 2), 可以发现该区断裂系统在纵向上存在明显的分层性, 即深层断裂系统和浅层断裂系统。

2.1 深层断裂

深层断裂发育于基底到二叠系或三叠系, 为基底逆冲断裂。断裂走向大多以 NEE 向为主且平行塔北隆起构造轴部(图 3)。断裂延伸长度一般为 20~100 km, 其中轮台、亚南断裂规模较大, 断裂延伸均超过 200 km, 轮台断裂古生界最大断距超过 3500 m^[9], 亚南断裂断距为 700 m。2 条断裂相向倾斜, 轮台断裂北倾, 亚南断裂邻近库车坳陷断面南倾。只有部分断裂以 NW 向为主且规模较小, 断裂延伸长 20~30 km, 分布于轮台断隆西部即英买力背斜一带。

构造样式主要有褶皱冲断构造和背冲构造两种, 褶皱冲断构造指一组大体平行展布且以陡倾角切入基底的逆冲断层及其所夹断块组合, 背冲构造指两条相向倾斜的逆冲断层组成, 往往共用一个上升盘。背冲构造是整个塔北隆起常见的构造样式之一, 塔北隆起发育有许多这种不同尺度的背冲构造, 其中, 塔北隆起北部的轮台、亚南断裂组合一明显的背冲构造样式, 该构造样式控制塔北隆起中、新生代隆升发展; 另外, 塔北隆起南部也同样发育轮南与桑塔木小型背冲构造。

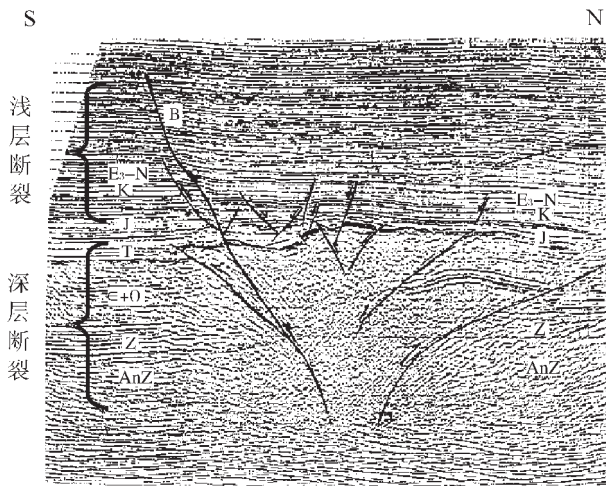


图 2 塔北隆起北部深、浅层断裂展布地震解释图 (据杨春林^[9])

Fig. 2 Results of seismic interpretation of the distribution of deep and shallow faults in the north of the Tabei uplift (after Yang Chunlin^[9])

2.2 浅层断裂

浅层断裂为正断裂, 均分布在塔北隆起北部即轮台断隆轴部, 其范围东至库南 1 井以北 30 km, 西到羊塔克 1 井, 北

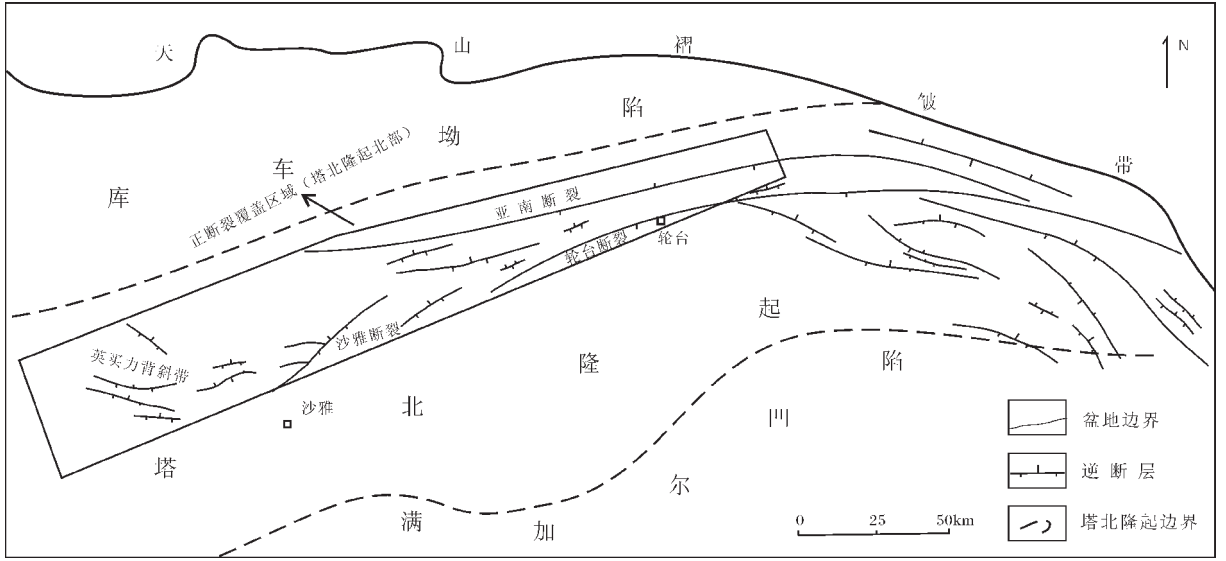


图3 塔北隆起深层断裂展布图

Fig. 3 Distribution of deep faults in the Tabei uplift

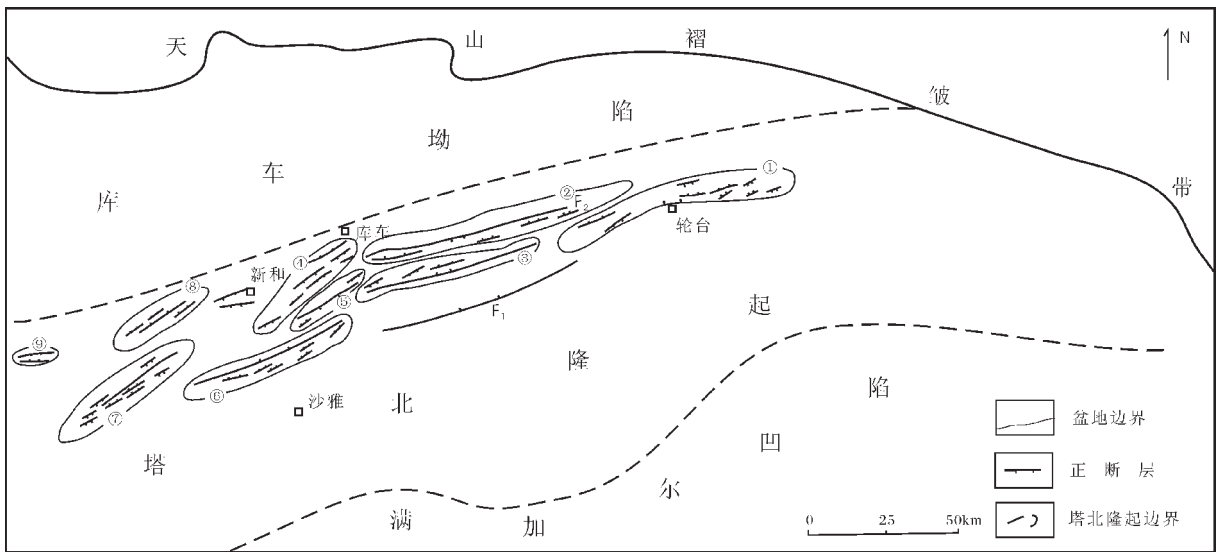


图4 塔北隆起北部正断层分布图

- ①—提尔根断裂构造带;②—牙哈断裂构造带;③—哈拉库木断裂构造带;④—齐满断裂构造带;⑤—齐满东断裂构造带;
- ⑥—红旗断裂构造带;⑦—英买7断裂构造带;⑧—英买7北断裂构造带;⑨—羊塔克断裂构造带;F₁—轮台正断层;F₂—牙哈断层

Fig. 4 Distribution of normal faults in the north of the Tabei uplift

- ①—Tiergen fault belt;②—Yaha fault belt;③—Halakumu fault belt;④—Qiman fault belt;⑤—East Qiman fault belt;⑥—Hongqi fault belt;
- ⑦—Yingmai 7 fault belt;⑧—North Yingmai 7 fault belt;⑨—Yangtake fault belt;F₁—Luntai Normal fault;F₂—Yaha normal fault

至库车—牙哈一线以南,南到轮台—英买力一线,东西长约300 km,南北宽 10~32 km,面积约 6 000 km²(图 4)。平面上呈一狭长条带状覆盖于塔北隆起深层断裂系统之上。浅层断裂规模较小,走向均为 NEE 向,断裂断开层位均为侏罗系—新

近系吉迪克组或库车组。

浅层各断裂构造带中的构造样式主要为地堑、阶梯状断裂两种。地堑是由倾向相反,上盘相对下降的两条断层组成对称型或非对称型的构造样式,是浅层断裂系统中主要的构

造样式。塔北隆起北部浅层断裂各构造带中均发育有这种构造样式。阶梯状断裂是由一系列相互平行同向倾斜的正断层组成,上盘呈阶梯式下掉。

浅层的主干断层有:

(1)提尔根断层。提尔根断层位于断裂系统东部,为区内规模最大的北倾断层,延伸长度达 120 km,断距一般为 200~250 m,错断地层为侏罗系—新近系库车组。

(2)牙哈断层。牙哈断层位于断裂系统中段,北临库车坳陷。该断层为区内断裂断距最大的南倾断层,呈 NEE 向延伸 80 km,断距一般 200~350 m,在牙哈断层控制下发育次级阶状断裂和反向断裂,使主断层复杂化。断裂错断地层一般为侏罗系—新近系库车组,断层在新近系具有同生断层性质,控制新近系沉积。在其上盘中新生界发育一系列串珠状断鼻、断背斜、背斜构造。

(3)哈拉库姆断层。哈拉库姆断层是一北倾正断层,亦位于断裂系统中段,牙哈断裂南部,略呈弯曲状展布,延伸长度为 60 km,断裂断距一般 100~200 m,错断层位为侏罗系—新近系库车组,具同生断层性质,对新近系沉积有明显的控制作用。

(4)红旗断层。红旗断层位于断裂系统西部的红旗 1 井(HQ1)地区,为一南倾正断层,由东西两段断层组成,东段延伸长度约 20 km,断距 60~100 m,西段延伸长度约 25 km,断距 60~80 m。在断层两侧发育多条南倾、北倾的小断层。错断地层为侏罗系—新近系吉迪克组。

(5)齐满断层。齐满断层位于断裂系统西部的齐满 1 井地区,为一南倾正断层,NE—NEE 向展布,延伸长度约 26 km,断距小于 50 m,错断层位为侏罗系—新近系吉迪克组。在断裂南侧发育北倾、南倾断层,与齐满断层构成小型地堑系统。另外,受正断层逆牵引作用的影响,在断裂上盘形成一系列轴向北东走向的断背斜。

(6)英买 7 号断层。英买 7 号断层位于断裂系统的西南端,为一南倾正断层,NE 向展布。断层断距小于 80 m,断层错断层位为侏罗系—新近系吉迪克组。

(7)羊塔克断层。羊塔克断层位于断裂系统西端,为一南倾正断层,近 NW 向延伸,延伸长度约 30 km。由于受正断层影响,在主断层的上升盘形成多个沿断层分布的古近系断背斜、半背斜。

3 断裂演化的动力学成因分析

3.1 深层断裂

据地震剖面解释成果^[7],晚二叠世造山运动无疑是塔北隆起深层断裂发育的主要动力来源。塔北隆起北部邻库车坳陷与天山相隔而望,构造变形以背冲构造为主,冲断构造为辅。塔北隆起北部断裂构造强烈发育的原因在于塔北隆起是一个长期继承发育的基底隆起(如前所述),也就是说塔北隆起在晚古生代造山运动前就已经存在。为此可将塔北隆起

看作一个大型“褶皱”,那么在这个“褶皱”(塔北古克拉通隆起)先存的地质条件下,晚二叠世近南北向造山挤压应力下使近南北向“褶皱”(塔北古克拉通隆起)发生“纵弯”变形的过程。根据褶皱→断裂转换变形关系^[8],这种纵弯变形过程必然使塔北隆起南北方向由宽缓变得陡窄并最终导致 NEE 向断裂强烈发育。塔北隆起北部的亚南断裂与其南部轮台断裂组成最大的背冲构造,在近南北方向挤压应力下,背冲块体分别向两侧的满加尔凹陷和库车坳陷逆冲使其成为塔北隆起隆升最高、剥蚀最强的地带。其中亚南断裂上盘古生界地层几乎剥蚀殆尽。塔北隆起北部断裂大规模逆冲活动在一定程度弥补了地壳沿造山挤压方向上的缩短量。

从盆地构造演化的角度来看,塔北隆起北部基底断裂形成过程正对应塔里木北部前陆盆地发育的早期阶段^[6,9],但这并不说明塔北隆起北部断裂发育、强烈的冲断剥蚀处于前陆变形区域。原因是前陆盆地发育的主要时期在三叠纪,三叠系沉积中心靠近山前并向塔北隆起呈楔形体展布。这说明在三叠纪塔北隆起北部由古克拉通隆起转为前陆前缘隆起^[9-10],塔北隆起北部才正式成为前陆的一部分。因此从隆起北部断裂的发育时间、隆起性质转换期来看,晚二叠世—早三叠世塔北隆起北部断裂构造变形并不是处于前陆冲断前峰地带,而是板内古克拉通隆起受造山挤压构造变形的产物。

从盆地演化过程来看,塔北古克拉通隆起北部断裂的形成到前缘隆起形成的过渡过程正是叠合盆地演化过程中构造变形叠加的时空耦合产物。张光亚^[10]称塔北隆起北部为前陆克拉通区域。

在隆起北部西段即英买力背斜带发育少量规模较小的 NW 向逆冲构造,这些断裂的成因则是来自北东方向造山挤压应力下的产物。

3.2 浅层断裂

库车再生前陆盆地结构中引张构造变形(塔北隆起北部)的成因一直以来成为众多学者^[7,11-13]所密切关注的问题。贾承造^[9]和杨春林^[7]认为浅层断裂是库车前陆拗陷挠曲沉降,前缘隆起引张(横张)构造变形的产物;刘学锋^[11]认为浅层正断裂是基底深层断裂受喜马拉雅运动早期左旋扭动在浅层派生出的引张构造变形产物;汤良杰^[13]认为塔北隆起北部正断裂是前陆拗陷快速挠曲沉降导致前陆斜坡带引张构造变形的产物。

从深浅层断裂平面展布格局和纵向发育特征来看,浅层断裂为深层断裂走滑扭动所派生出的引张构造变形似乎不太可能。因为深浅层断裂平面上呈近 NEE 向展布,并且深层断裂所展布的纵向剖面并没有明显压扭的花状构造,虽然部分深层断裂平面呈雁列展布,但诸多类似实例与物理实验说明,断裂雁列式展布特征受许多因素控制,并不一定是断裂走滑活动的充分论证^[14,15]。

从叠合盆地构造演化特征来看,晚二叠世—三叠纪,塔里木盆地北部处于前陆盆地发展阶段。虽然很多学者对侏罗

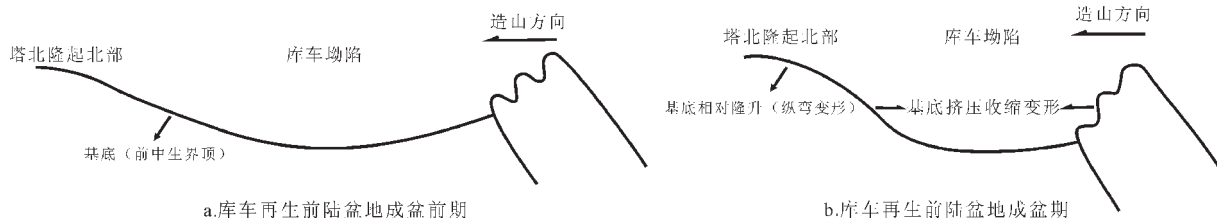


图5 库车再生前陆盆地成盆前、后期基底构造形态示意图

Fig. 5 Tectonic configuration of basement structure in the early and late stages of the formation of the Kuqa regenerated foreland basin

纪—古近纪塔里木北部盆地性质的认识存在很大的分歧,但总体来说,这一时期塔北隆起处于构造宁静期,进行稳定沉降与沉积阶段。塔北隆起作为早期前缘的隆起^[9]逐渐被淹没,成为水下低隆,塔北隆起的地表形态面貌已消失。

新近纪,印度板块与欧亚板块碰撞的远程碰撞效应使天山再次复活,塔里木盆地北部进入库车再生前陆盆地阶段。随着盆地沉降、沉积中心的南移,岩石圈挠曲波长的增大,库车再生前陆盆地的范围也向南逐渐迁移。吉迪克期,塔北隆起与北部拗陷一同转化为前陆斜坡,而塔中隆起由古克拉通隆起转化为库车再生前陆盆地的前缘隆起。在造山挤压过程中,前陆构造变形区域主要集中在库车拗陷内,其构造变形以薄皮构造变形为主,沿基底(前中生界顶)滑脱界面^[10]之上发育各种类型逆冲构造和褶皱以实现挤压方向上的缩短量。而库车拗陷与塔北隆起的基底在前陆构造背景下既保持着挠曲沉降(横弯变形),同时又受近南北方向挤压而发生收缩变形。因此受先存隆凹构造形态(古塔北隆起与库车拗陷)的影响,水平挤压不仅达到使基底实现收缩缩短,而且同样可以使基底发生相对隆升与沉降,即库车拗陷基底相对沉降,塔北隆起北部相对隆升^[16-19](图5)。水平挤压是塔北隆起北部基底隆升变形(纵弯变形)不可忽视的动力机制。在构造地质学原理上,这等同于岩石在水平挤压下挠曲变形的过程。挠曲变形的转折端位于塔北隆起与库车拗陷的斜坡部位,进一步挤压使转折端变得更加陡峭,而在塔北隆起北部却相对翘曲上拱。库车拗陷—塔北隆起北部基底构造变形的演化过程已通过了三维建模软件成功模拟得以验证^[20]。塔北隆起北部基底相对隆升势必造成上部构造层的引张变形,形成小型规模的正断层系统。魏国齐^[21]用断层生长指数分析方法对浅层正断层的统计分析表明,塔北隆起北部的正断层主要形成于新近纪吉迪克期,与笔者分析的基本一致,即对应于库车再生前陆盆地形成的造山运动时期(图6)。

造山负荷与沉积负载也可能会使塔北隆起北部发生隆升(横弯变形),从而使上覆岩层发生引张变形。但这种变形的力学机制并不是塔北隆起北部基底隆升的主要动力因素。其原因在于,库车再生前陆盆地演化阶段,前缘隆起并不处在塔北隆起北部,也就是说岩石圈挠曲波长的波峰已不在塔

北隆起北部,已经转移到塔中隆起。

浅层正断裂发育于前陆拗陷快速沉降的前缘斜坡部位可能性很小,因为这种引张构造背景通常形成与斜坡相同倾向的阶梯状断层^[9]。而塔北隆起北部浅层断裂构造带中大多是中部为地堑、地垒构造样式,向两边为相向倾斜的阶梯状断层组合。这些构造样式的展布特征明显受基底隆升的构造形态控制。

前陆盆地沉积边界、沉降中心的迁移是叠合盆地构造演化的四维时空问题^[22]。从库车再生前陆盆地沉降特征来看,盆地的沉降起始于新近纪吉迪克期,而在康村期—库车期,盆地的沉降中心在向南迁移的同时也在向东迁移^[23]。塔北隆起北部的正断层的发育随盆地的沉降中心的转移而有规律的变化,表现在牙哈—哈拉库姆构造带及其以西区域的断层形成于吉迪克期并在该期定型,而牙哈—哈拉库姆构造带以东区域正断层活动时间一直持续到新近纪康村期—库车期。塔北隆起北部正断裂的形成、发育正是盆地沉降格局转变与盆内引张构造变形相互耦合作用的结果。

此外,塔北隆起北部牙哈断裂以南少部分正断层发育于晚白垩世时期,断层的发育同样形成于挤压构造背景(青藏高原地区 Kohistan—Dras 岛弧与拉萨地体在晚白垩世时期碰撞事件的远程效应^[24]),其成因机制与上述相同。

4 深、浅层断裂系统的关系

深、浅层断裂系统是叠合盆地不同演化阶段构造变形的产物。就深、浅层断裂系统纵向展布特征来看,塔北隆起北部西段英买力背斜一带,深、浅断裂纵向上呈交叉展布。除此之外,大部分深、浅层断裂都以 NEE 同方向展布。部分 NEE 向深层断裂可能扮演着“纵张节理”的角色,为浅层断裂的发育提供了应力释放的场所。在地震剖面上,这种上正下逆、上陡下缓的叠加断裂类似于负反转断裂特征。反转构造所要表述的是同一构造块体从沉降到隆升或从隆升到沉降的过程^[25,26],根据塔北隆起北部叠加断裂的成因背景、动力学演化过程分析,虽然深层断裂及其块体早期经历了逆冲活动,但后期并没有发生引张正断活动,因此这种叠加断裂不应视为反转断裂。

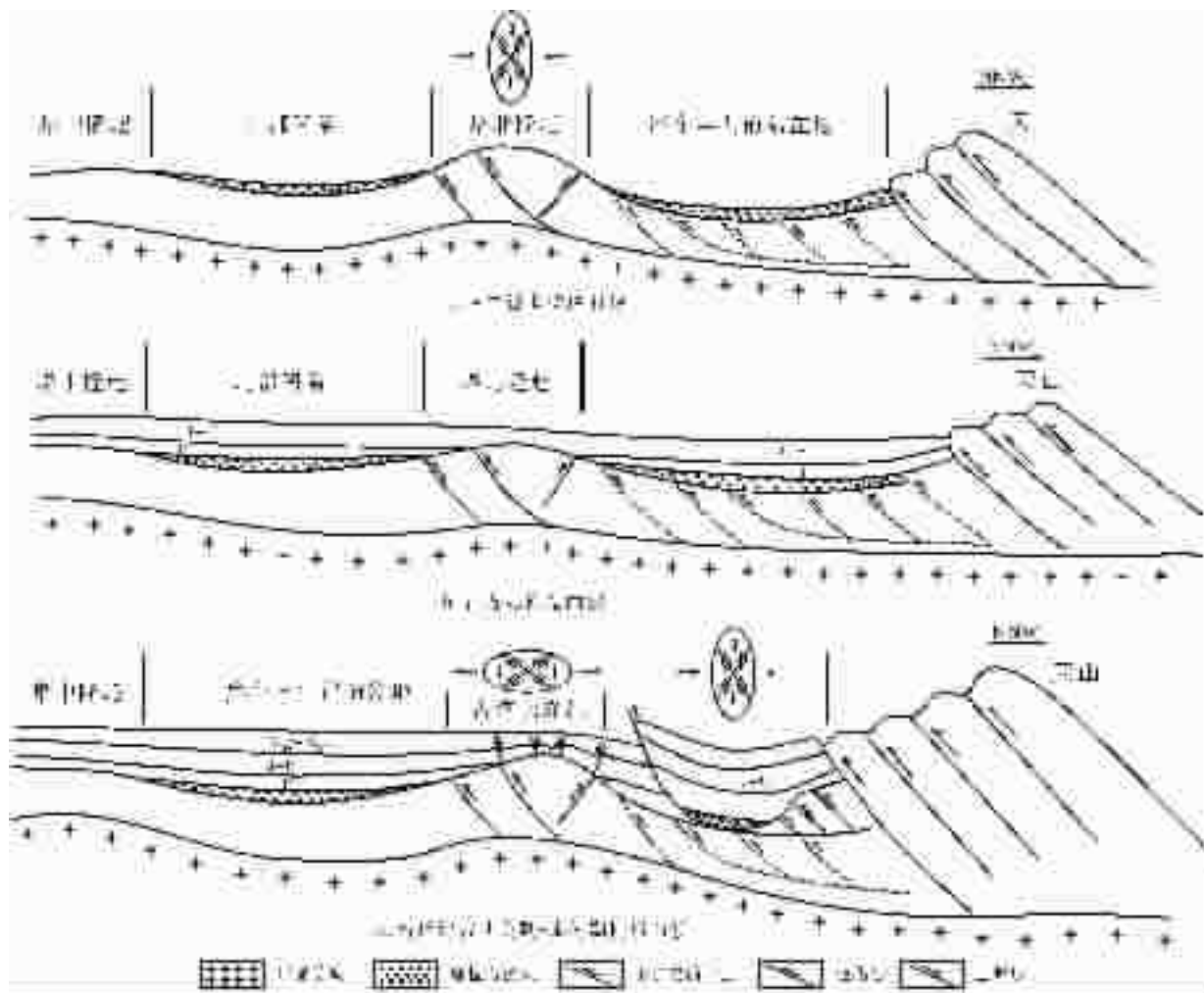


图 6 塔北隆起构造演化及叠加断裂发育模式图

J—E—侏罗系—古近系; T—三叠系; N_{1j}—N_{2k}—吉迪克组或库车组

Fig. 6. Tectonic evolution of the Tabei uplift and model of overlapped fault development.

J—E—Jurassic—Eogene; T—Triassic; N_{1j}—N_{2k}—Neogene Jidike Formation or Kuqa Formation

5 地质意义

(1) 深、浅层断裂发育揭示了叠合盆地关键构造变革时期盆内(塔北隆起北部)构造变形的主要特征。深层断裂为基底逆冲断裂,发育冲断构造、背冲构造组合;浅层断裂为正断层,发育地堑、地垒构造样式组合。深、浅层断裂构造变形均形成于挤压构造背景。深层断裂为塔里木克拉通盆地向早期前陆盆地过渡过程中构造变形的产物,浅层断裂为伴随库车再生前陆盆地演化过程中构造变形的产物。

(2) 浅层断裂的成因对解释叠合盆地基底—盖层统一构造变形关系具有重要的地质意义。库车再生前陆盆地阶段,沉积盖层与基底分别以不同的构造变形来实现地壳挤压方

向缩短量。基底的挤压收缩变形诱发塔北隆起北部基底翘曲进而导致上覆岩层(冲断前缘前方)引张构造变形。

(3) 浅层断裂的形成、发育随库车再生前陆盆地沉降中心的迁移而有规律的变化。塔北隆起北部正断层发育于新近纪吉迪克期,康村期—库车期,西部正断层已定型,而东部正断层仍持续发育。塔北隆起北部正断层的发育体现了叠合盆地构造演化过程中沉降格局变迁与塔北隆起北部引张构造变形的相互耦合作用。

参考文献(References):

[1] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造及其演化[M].北京:科学出版社,1980.1~124.

- Huang Jiqing, Ren Jishun, Jiang Chunfa, et al. Geotectonic of China and it's Evolution[M]. Beijing: Science Press, 1980. 1~124 (in Chinese).
- [2] 汤良杰, 金之钧, 庞雄奇. 多期叠合盆地油气运聚模式[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 67~72.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Pang Xiongqi. Hydrocarbon migration and accumulation models of superimposed basins [J]. Journal of the University of Petroleum, 2000, 24 (4): 67~72 (in Chinese with English abstract).
- [3] 秦胜飞, 贾承造, 陶士振. 塔里木盆地库车坳陷油气成藏的若干特征[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 103~109.
- Qin Shengfei, Jia Chengzao, Tao Shizhen. Some characteristics of oil and gas accumulation in the Kucia depression, Tarim basin [J]. Geology in China, 2002, 29 (1): 103~109 (in Chinese with English abstract).
- [4] 康玉柱. 塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 315~320.
- Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the large Tahe oil field in the Tarim basin and its prospects [J]. Geology in China, 2003, 30(3): 315~320 (in Chinese with English abstract).
- [5] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 238~370.
- Jia Chengzao. Tectonic Characteristic in the Tarim Basin of China and Its Petroleum[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 238~370 (in Chinese).
- [6] 汤良杰. 塔里木盆地构造演化与构造样式[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 41~73.
- Tang Liangjie. Evolution and Structural Styles of the in the Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 41~73 (in Chinese).
- [7] 杨春林, 吴奇之, 夏义平. 塔里木盆地北部隆起中、新生界张扭断裂系统成因及其油气聚集的作用[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(4): 461~468.
- Yang Chunlin, Wu Qizhi, Xia Yiping. The origin of Mesozoic - Cenozoic extension - torsional fault system in the north positive element in the Tarim basin and its role in accumulating oil and gas [J]. OGP, 2000, 35(4): 461~468 (in Chinese with English abstract).
- [8] 俞鸿年, 卢华复. 构造地质学原理[M]. 南京: 南京大学出版社, 1998.
- Yu Hongnian, Lu Huafu. Tectonics Theory[M]. Nanjing: University of Nanjing Press, 1998 (in Chinese).
- [9] 何登发, 李德生. 塔里木盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 113~115.
- He Dengfa, Li Dengsheng. Structural Evolution and Oil and Gas Accumulation of the Tarim Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 113~115 (in Chinese).
- [10] 张光亚, 陈发景, 汪新文. 塔北地区变形样式及其分布规律[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(6): 755~768.
- Zhang Guangya, Chen Fajing, Wang Xinwen. Deformation style and its distribution in North Tarim basin, Northwestern China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1994, 19 (6): 755~768 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘学锋, 时卫东, 彭德堂, 等. 塔北隆起张性构造带形成机制与油气关系[J]. 新疆石油地质, 1997, 18(1): 13~17.
- Liu Xuefeng, Shi Weidong, Peng Detang, et al. Forming mechanism of tensional tectonics belt and the relation with hydrocarbon in Tabei uplift [J]. XJPG, 1997, 18 (1): 13~17 (in Chinese with English abstract).
- [12] 何文渊, 李江海, 钱祥麟. 塔里木盆地北部隆起负反转构造成因机制探讨[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 234~240.
- He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin. Mechanism of negative inversion - structuring in north Tarim uplift [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(2): 234~240 (in Chinese with English abstract).
- [13] 汤良杰, 金之钧, 张一伟, 等. 塔里木盆地北部隆起负反转构造及其地质意义[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 93~99.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Yiwei, et al. Negative inversion structures and geological significance of northern uplift, the Tarim Basin, northwestern China [J]. Geoscience, 1999, 13 (1): 93~99 (in Chinese with English abstract).
- [14] 周建勋, 朱战军, 梁慧社. 斜向挤压构造的物理模拟及其对焉耆盆地构造解释[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(5): 5~7.
- Zhou Jianxun, Zhu Zhanjun, Liang Huishe. Physical modeling of structures oblique compression and its implication for formation of structures in the Yanai Basin, Northvestern China [J]. Coal Geology and Exploration, 2002, 30(5): 5~7 (in Chinese with English abstract).
- [15] 朱战军, 周建勋. 雁列构造是走滑断层存在的充分判据?——来自平面砂箱模拟实验的启示[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2): 142~148.
- Zhu Zhanjun, Zhou Jianxun. Is an echelon structure a sufficient criterion for the existence of strike - slip fault? - insights from the plane sandbox analog experiments [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(2): 142~148 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘少锋, 李思田. 前陆盆地形成的力学机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(1): 57~52.
- Liu Shaofeng, Li Sitian. Formation mechanism of foreland Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(1): 57~52 (in Chinese with English abstract).
- [17] 谭富文, 罗建宁. 前陆盆地研究进展综述[J]. 四川地质学报, 1999, 19(3): 193~199.
- Tan Fuwen, Luo Jianning. A summary of the advances in research on foreland basin [J]. Journal of Sichuan Geology, 1999, 19(3): 193~199 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱战军, 周建勋. 基底收缩对斜向挤压盆地构造格局影响的实验研究[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(4): 390~394.
- Zhu Zhanjun, Zhou Jianxun. Experimental study on influence of substrate contraction on structural patterns of oblique compressional basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27 (4): 390~394 (in Chinese with English abstract).
- [19] Cloetingh S. Intraplate stress : a new elements in basin analysis [A]. In: Kleinspehn K L, Paola C (ed.). New Prospective in Basin Analysis [C]. New York : Springer - Erlay, 1988. 205~230.
- [20] 曲国胜, 张宁, 刘洁, 等. 塔北隆起—库车坳陷区中生代基底—盖

- 层构造变形机理[J].地质通报,2004,23(2):113~119.
- Qu Guosheng, Zhang Ning, Liu Jie, et al. Structural deformation mechanism of the Meso-Cenozoic basement and cover in the north Tarim uplift-Kuqa depression[J]. Geological Bulletin, 2004, 23(2):119~119(in Chinese with English abstract).
- [21] 魏国齐,贾承造,施央申,等.塔北隆起北部中生界张扭性断裂系统特征[J].石油学报,2001,22(1):20~24.
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristics and petroleum accumulation in extensional-shearfault system in mesozoic-cenozoic formations in the northern area of Tabei uplift[J]. Acta Petroli Sinica, 2001,22(1):20~24 (in Chinese with English abstract).
- [22] 汤良杰,金之钧,贾承造,等.叠合盆地构造解析几点思考[J].石油实验地质,2001,23(3):251~255.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Jia Chengzao, et al. Tectonic analysis of superimposed Basins[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2001, 23(3):251~255(in Chinese with English abstract).
- [23] 何光玉,卢华复,杨树锋,等.库车中新生代盆地沉降特征[J].浙江大学学报(理学版),2004,31(1):110~114.
- He Guangyu, Lu Huafu, Yang Shufeng, et al. Subsiding features of the Mesozoic and Cenozoic Kuqa Basin, Northwestern China [J]. Journal of the University of Zhejiang China, 2004,31(1):110~114 (in Chinese with English abstract).
- [24] 贾承造,陈汉林,杨树锋,等.库车坳陷晚白垩世隆升过程及其地质响应[J].石油学报,2003,24(3):1~6.
- Jia Chengzao, Chen Hanlin, Yang Shufeng, et al. Late Cretaceous uplifting process and its geological response in Kuqa Depression [J]. Acta Petroli Sinica, 2003,24(3):1~6 (in Chinese with English abstract).
- [25] Cooper.M.A.Inversion Tectonics [J]. Geological Society Special Publications,1989(44):335~347.
- [26] 周祖翼.反转构造[J].地质科技情报,1994,13(1):3~11.
- Zhou Zuyi.Inversion tectonics[J].Geological Science and Technology Information,1994,13(1):3~11(in Chinese with English abstract).

Characteristics of overlapped faults in the north of the Tabei uplift and analysis of their genetic setting

CUI Ze-hong^{1,2}, WANG Zhi-xin^{1,2}, TANG Liang-jie^{1,2}

(1. Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Education Ministry, Beijing 102249, China)

Abstract: During the evolution of the Tarim superposed basin, the Tabei uplift went through three stages: old craton uplift, early foreland front uplift and Kuqa regenerated foreland basin slope. It experienced two stages of basin-forming structural transformation, giving rise to the deep- and shallow-level systems of overlapped faults in the north of the Tabei uplift: the deep-level fault system is a basement thrust one marked by a combination of thrusts and backthrusts, and the shallow-level fault system is a normal fault one, marked by a combination of grabens and horsts. The two fault systems with different characters correspond to two stages of formation of the foreland basin in the orogenic compressional environment. The deep faults were not formed in the early foreland deformation zone but resulted from fracturing of rocks during the longitudinal buckling of the intraplate Tabei old craton uplift in a compressional environment. The shallow faults are the result of extensional fracturing of the overlying strata due to lateral compressional warping deformation (longitudinal buckle deformation) of the basement (pre-Mesozoic tectonic layer) in the north of the Tabei uplift in the stage of the Kuqa regenerated foreland basin.

Key words: superposed basin; structural transformation; overlapped fault; longitudinal buckling; basement warping

About the first author: CUI Ze-hong, male, born in 1976, doctoral candidate, specializes in basic tectonic analysis and tectonic geology; E-mail: cuizeh@163.com.