

温宿北—野云沟断裂的构造几何学与运动学特征 及塔北隆起的成因机制

何登发 孙方原 何金有 文 竹 何 娟 宋正云

(中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 克拉通内古隆起的构造变形是探究板块内部变形行为与大陆流变构造学的理想场所, 断裂研究则是其主要突破口。本文基于新的地球物理与钻探资料, 对塔里木盆地北部隆起的断裂系统尤其是其北部边界断裂的几何学与运动学开展研究。分析表明, 温宿北—野云沟断裂系在重磁场与反射地震剖面上具有清楚的反映, 为塔北隆起的北部边界断裂, 长达 600 km, 自西向东由温宿北断裂、温巴什断裂和野云沟断裂三段构成。该断裂系是在早奥陶世末沿基底软弱带自南向北逆冲形成的大型断层相关褶皱带基础上在前翼发生突破而形成的, 加里东末期形成锥形, 二叠纪末期, 受南天山洋关闭的影响由北向南的强烈挤压形成自北而南的逆冲构造系统。该逆冲系统迁就原加里东期的滑脱面发育, 并对原来的逆冲系统进行叠加、改造, 形成一系列小断块叠加的大型背冲断裂系统, 使得该断裂带基本定型。喜马拉雅期塔北隆起轴部发育张扭性断裂构造系统, 该断裂系遭受左旋压扭, 断裂的活动时序自东向西趋晚, 具有长期演化、多期发育、继承、叠加与复合的特征。活动强度呈古生代强烈、中生代—新生代早期弱化、新生代晚期趋强的“强—弱—强”的演化趋势, 在横向上呈西段强烈、东段略弱的特征。其成因主要与早奥陶世末期北昆仑洋关闭、二叠纪末期南天山洋关闭、古近纪新特提斯洋关闭引起的周缘地体与塔里木地块的碰撞拼合相关, 表现出周缘板块构造事件对板内变形的强烈影响。该断裂系是重要的油气富集带。研究其成因与演化有助于该带油气勘探的拓展, 例如西秋断裂带的油气发现。

关键词: 温宿北—野云沟断裂系; 断裂几何学; 运动学; 基底滑脱断裂; 塔北隆起; 塔里木盆地

中图分类号: P542+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)04-0917-18

板块内部变形一直是板块构造研究的重要突破口之一。通过解析板块内部构造变形的期次、样式、层次与机制可以为探讨板块内部的结构组成、流变学性质、变形行为与保存状态奠定重要基础^[1-5]。塔里木板块由其核心稳定区与周缘活动带组成, 由于其规模较小, 在地质历史中表现出较强的活动性, 板内变形与周缘板块边界作用具有较好的对应性。通过解析板内盆地的构造变形不但可以了解周缘板块作用的方式与机制, 而且可以在板内流变学组成与地质结构研究的基础上, 探讨板内变形自身的属性

与行为, 以及这些变形行为对流体矿产的控制作用。

塔北隆起位于塔里木盆地北部, 西接阿瓦提坳陷与柯坪隆起, 向东以库尔勒—孔雀河断裂为界与库鲁克塔格断隆相连, 南部以断裂或斜坡与北部坳陷毗邻, 北部与库车坳陷相接(图 1-a); 为夹持于库车坳陷与北部坳陷之间古生代发育定型、中生代塌陷的残余古隆起^[1,6-8], 其形成演化受天山造山带的控制明显^[5,9]。其主体由古生界构成, 在隆起轴部缺失部分古生界层序, 中生界直接覆于结晶基岩之上, 隆起区古生界现今埋深 4000~6000 m。长期以来, 对

收稿日期: 2011-04-29; **改回日期:** 2011-06-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40739906)、国家油气专项(2008ZX05008-001)和国家重点基础研究发展计划项目(2011CB201100)资助。

作者简介: 何登发, 男, 1967 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 构造地质学与石油地质学专业, 长期从事沉积盆地构造分析与油气勘探研究工作; E-mail: hedengfa282@263.net。

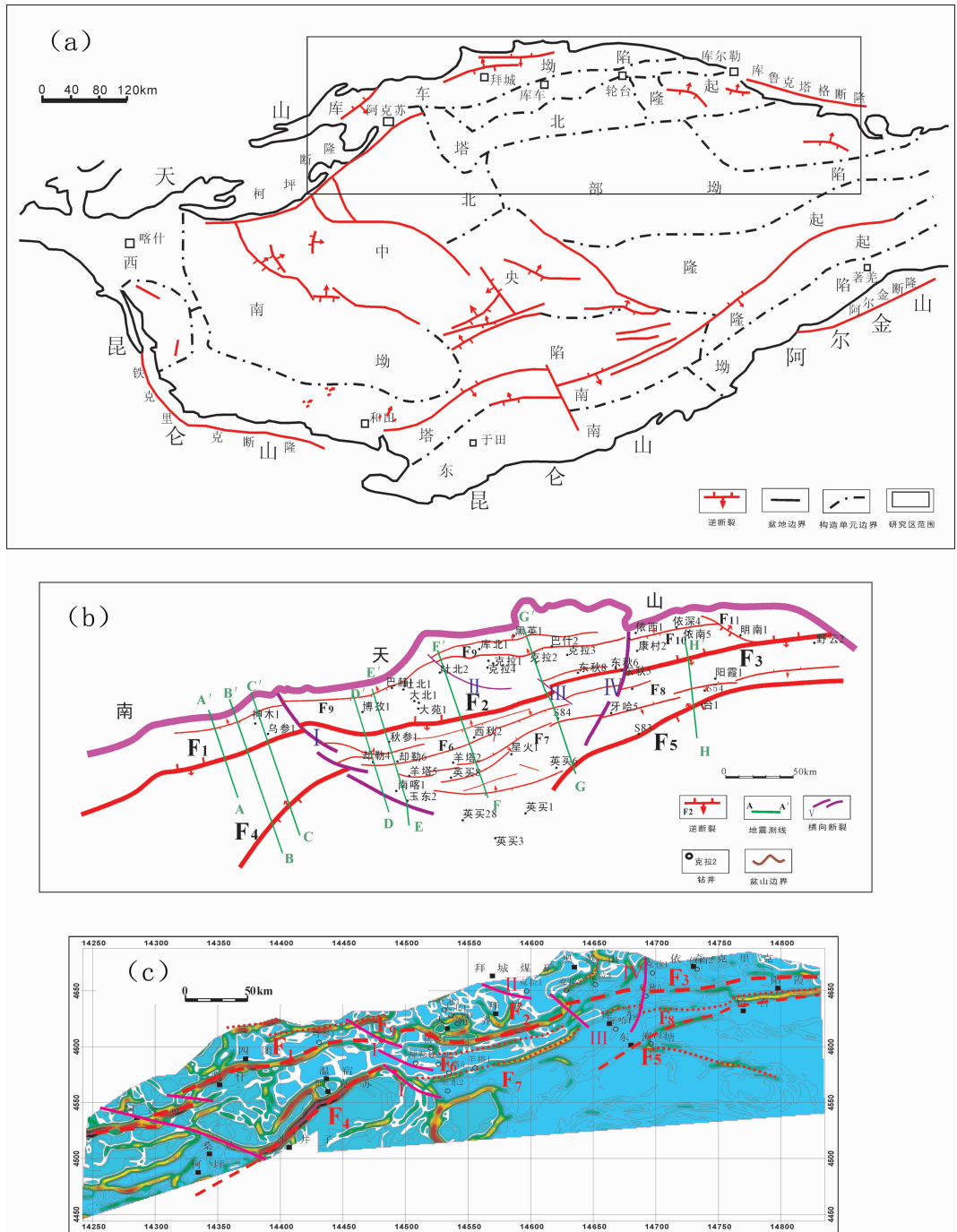


图1 塔里木北部地区主要断裂分布图

(a)—研究区区域构造位置图,方框示图1-b位置;(b)—基于反射地震资料解释的断裂分布图;(c)—重力水平总梯度异常及推断断裂图。断裂名称:F₁—温宿北断裂;F₂—温巴什断裂;F₃—野云沟断裂;F₄—沙井子断裂;F₅—沙雅—轮台断裂;F₆—西秋1号断裂;F₇—羊塔克—大尤都斯断裂;F₈—牙哈—二八台断裂;F₉—库北断裂;F₁₀—依奇克里克断裂;F₁₁—吐格勒明断裂。横向转换构造带: I—喀拉玉尔滚断裂系;II—卡普沙良横向断裂;III—库车塔吾横向断裂;IV—库车横向断裂

Fig.1 Distribution of main faults in northern Tarim area

(a) -Regional structural location of the study area, with the box showing the location of Fig.1b; (b)- Fault distribution map based on the interpretation of reflection seismic data; and (c)-Anomaly of gravitational general gradients and inferred fault distribution. Fault names: F₁-Wensubei; F₂-Wenbashi; F₃-Yeyungou; F₄- Shajingzi; F₅-Shaya-Luntai; F₆-Xiqiu No.1; F₇-Yangtak-Dayoudusi; F₈-Yaha-Erbatai; F₉-Kubei; F₁₀-Yiqikik; F₁₁-Tugerming. Transcurrent transfer fault: I - Kalayuergun fault zone; II - Kapushaliang fault zone; III - Kuchetawu fault zone; IV -Kuche fault zone

于塔北隆起北部边界的认定并不清晰,多认为其北部边缘在秋里塔格山以南,即沿东、西秋里塔格山南麓的新和北、库车北、牙哈、库尔楚北一线分布^[7]。这一界线仅具有地理上的意义,其走向基本是沿塔北隆起的轴部延伸的,垂直切过隆起轴向的一系列新的南北向地震剖面表明,它并非是古隆起构造单元的北部边界,显然这一划分方案给塔北隆起构造演化史、沉积史、油气运移聚集史以及油气勘探区带的综合研究带来一定的局限性。

本文基于新的钻井与地球物理勘探资料,通过建立系列区域构造地质大剖面,厘定塔北隆起的北部边界断裂,开展边界断裂的构造几何学与运动学分析;结合塔北隆起的构造与沉积特点,建立塔北隆起的构造成因与演化模式。

1 塔北隆起的北部边界断裂

塔北隆起主体由轮台、轮南、英买力、温宿等凸起构成,西延至温宿凸起的西部,呈一近东西走向的大型长垣状隆起。轮南、英买力、温宿 3 个凸起呈北东向右行斜列式排列,其间存在构造转换带,显示其在古生代期间受塔里木地块右旋的影响^[7]。

塔北隆起及邻区的断裂分布在平面上可大致分为 3 组(图 1-b):(1) I 组,与区域构造趋势即与盆内隆、坳或北缘山系走向趋于平行的近东西向带状展布的逆冲断裂,构成区内主要由纵向断裂系,控制盆地北部隆、坳的沉积充填与相带的空间分布、构造发育及演化、油气运聚与保存;(2) II 组,呈北西向,主要分布于库车河以西的地区;(3) III 组,呈北东向,分布于库车河以东,是调节区内构造形变与位移,并使构造变形复杂化的横向断裂系。

主干断裂多倾向于隆起轴部,相互间多呈背形垒式组合,断面多上陡下缓,断距下大上小,规模大,演化历史长,控制隆坳或区带发育;断裂主要于奥陶纪早期发育,二叠纪末期基本定型,局部于喜马拉雅期转化为正断裂(图 1-b)。

主干断裂旁侧的分支断裂发育在古生界与中生界,古生界小断裂断面陡直,规模小,一般不延入上覆中生界,与主干断裂或斜接、或平行,主要分布在野云沟断裂、轮台断裂之间隆起主体区的英买力、雅克拉、牙哈、二八台等地区(图 1-b)。推测主要是海西晚期发育定型的。中生界的断裂多为正断裂,规模小,主要沿先存主干断裂方向展布,多呈北

东走向,相互间呈斜列式分布;正断层可构成负花状构造,显示其张扭活动性质,于喜马拉雅早期发育。

沿乌什、温巴什、库车北、野云沟一线展布的温宿北—温巴什—野云沟断裂系构成塔北隆起北部的边界大断裂。该断裂在重力水平总梯度异常图上有清楚反映(图 1-c),该断裂沿隆起走向展布,对隆起的形成演化及地层沉积分布具有明显的控制作用。

2 温宿北—野云沟断裂的组成特征

温宿北—野云沟断裂发育在塔北隆起北翼向“库车坳陷”的转折端上,构成塔北隆起与库车坳陷的边缘边界断裂。在重力水平总梯度异常图上对应一重力密集异常带(图 1-c)。断裂整体呈 NE—NEE 走向,东端可能与北西走向的库尔勒走滑断裂斜接,向西经野云沟—迪那—库车北—温巴什—古牧别孜,于乌什凹陷西端消失于柯坪掩冲带之下,区内延伸长度约 600 km(图 1)。其间因库车、喀拉玉尔滚横向或变换断裂带的切割分为 3 段,自西向东依次为温宿北断裂(F_1)、温巴什断裂(F_2)和野云沟断裂(F_3)。

东段即野云沟—库车段,呈近 EW 走向,倾向南,与牙哈—二八台断裂近于平行,与沙雅—轮台断裂构成大型背冲断垒带(图 2)。断面倾角为 $40^\circ\sim 80^\circ$,断裂上端一般不切入中新界,也未见发育在新生界的张性断裂,说明断裂发育演化过程中始终受挤压构造环境的制约。该段基本沿东秋里塔格山及下部盐构造的轴部走向展布,两者的分布范围近于一致,显示两者间的发育演化存在相互影响与制约的因素;断裂向东逐渐掩伏于后期发育的明南断裂之下(图 1-b),后期新生断裂与老断裂的展布位置和走向基本一致,说明依南—明南断裂发育演化可能受野云沟古断裂(F_1)的影响。其断面倾向的不同,说明其发育演化过程中两者间区域应力环境存在差异,前者可能为古生代塔里木地块北部压扭性构造环境的产物,后者则是喜马拉雅期自北而南的南天山—库车冲断褶皱系统的前锋断裂系统,但两者间的发育演化存在成生关系。

中段是指发育在喀拉玉尔滚与库车横向断裂之间的区段,称为温巴什断裂,呈近 NEE 走向、SSE 倾。基本沿西秋里塔格山的北麓展布。断裂于东、西部的结构明显不同,但整体为一复合型断垒组合样式。断面上陡下缓,倾角为 $35^\circ\sim 60^\circ$ 。过拜城西部的南北向地震剖面显示,温巴什断裂(F_2)与南部西秋 1

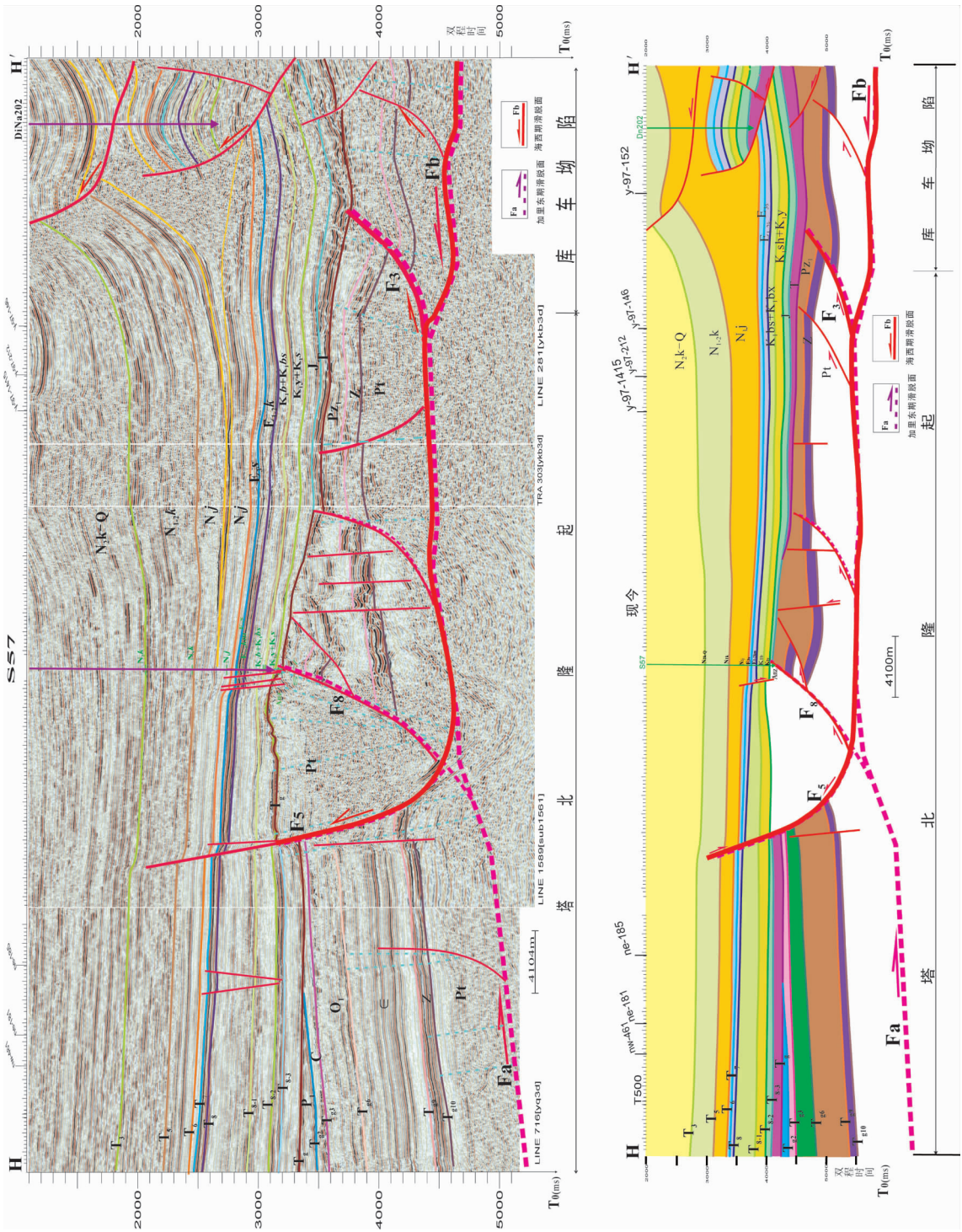


图 2 温宿北—野云沟断裂东段南北向地震地质结构剖面图
 Fig.2 NS-trending seismic and geological cross-section through the eastern segment of Wensubei-Yeyungou fault

号(F6)断裂构成一宽缓的断垒(图 4-1),向东则具多个断垒组合样式(图 4-2);再往东因西秋 1 号断裂逐渐消失,温巴什断裂与沙雅—轮台断裂构成大型断垒带(图 3),断面亦变陡;古生界底界的垂向位移量在 300~1500 m,在古近系底界为 100~400 m。在西

端,断裂向北西方向偏转,显示其发育过程与喀拉玉尔滚断裂和沙井子断裂的斜向走滑有关。

西段称为温宿北断裂。对于此断裂,有古牧别孜断裂或温宿北断裂两个名称,作者认为将其命名为温宿北断裂较妥当。古牧别孜断裂原意是指发育在

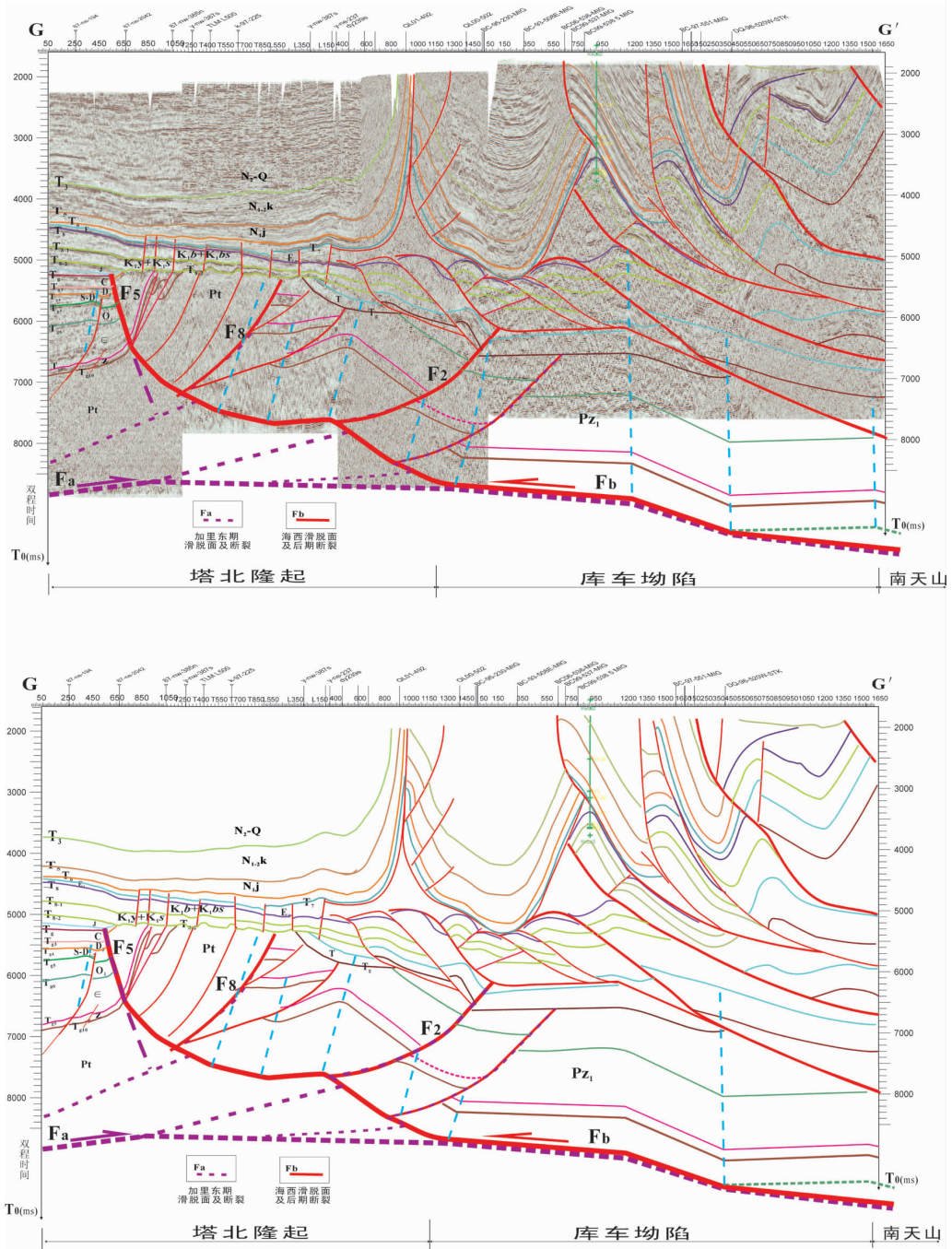


图 3 温宿北—野云沟断裂中段南北向地震地质结构剖面图(沿克拉 2—沙 84—沙 53 井)

Fig.3 NS-trending seismic and geological cross-section through the middle segment of Wensubei-Yeyungou fault along Wells Kela2-Sha 84-Sha 53

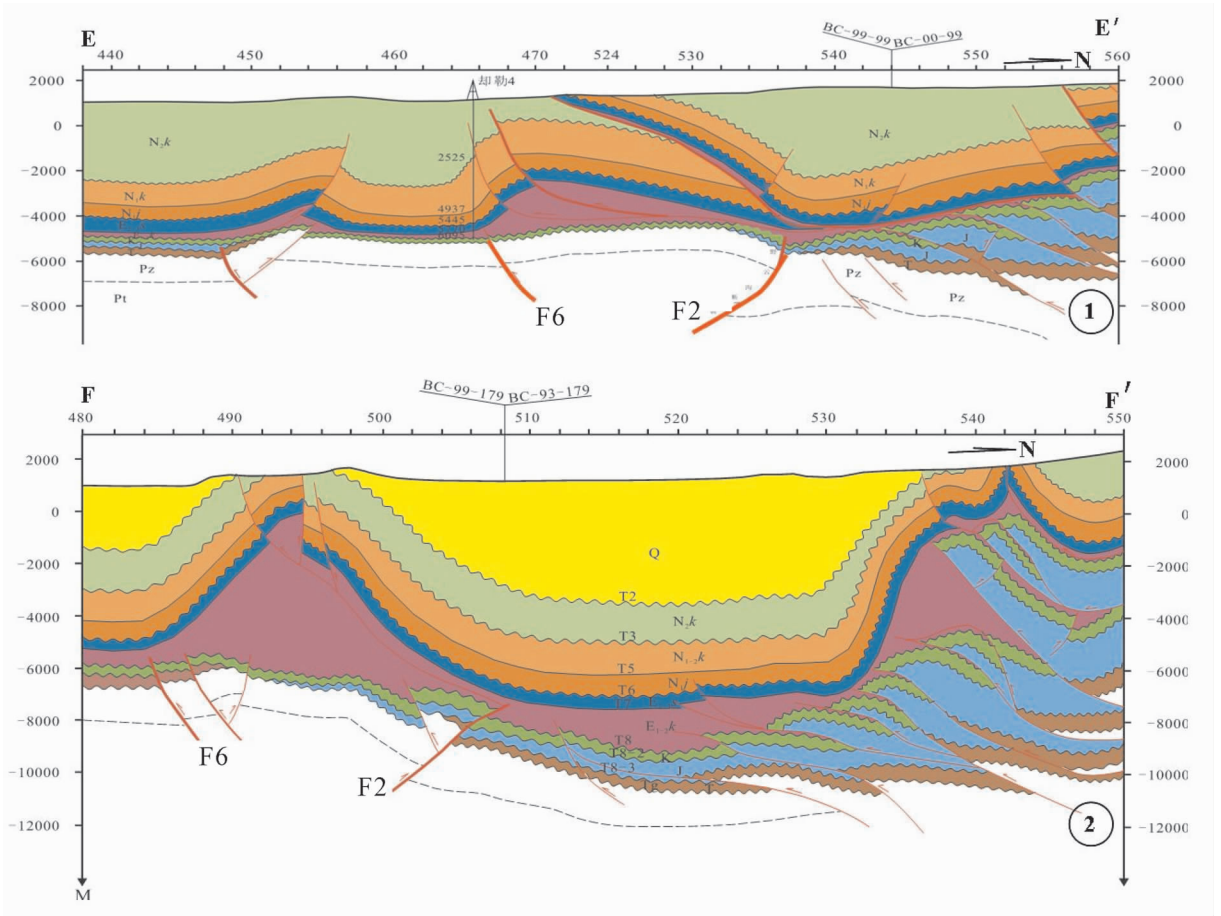


图 4 温宿北—野云沟断裂中段南北向地质结构剖面

(1)QL02-508+BC99,00-99 剖面;(2)BC93/99-179 剖面

Fig.4 NS-trending seismic and geological cross-section of

(1) QL02-508-BC99,00-99; and (2) BC93,99-179 through the middle segment of Wensubei-Yeyungou fault

古牧别孜地面背斜南翼的北倾逆冲断层，因古牧别孜背斜而得名，是发育在浅层新近系—第四系的北倾滑脱逆冲断裂；温宿北断裂是指发育在温宿凸起北侧边缘的南倾逆冲断层，具有限定凸起与凹陷范围的作用，是温宿凸起、乌什凹陷的分界断裂。断裂东端与喀拉玉尔滚横向断裂斜接，西部延入柯坪断隆后消失，整体呈近 NE 走向，全长约 160 km(图 1)。在地震 WS04-313、WS03-327 剖面上(图 5)，温宿北断裂表现为高角度冲断，断面南倾、高陡，倾角可达 60°~80°；水平位移量较小，垂向断距中西部远大于东端，中部新生界底界垂直断距近 3000 m。断裂向下切入古生界，上端则由东向西所切穿的层位逐渐抬升，东部仅切入新近系吉迪克组，而西端向上断开了第四系，这一现象可能与东部新近系吉迪克组塑性膏泥岩滑脱层的发育有关。在该塑性岩层分

布的区域，断裂具上、下两套断裂系统，其中下部表现为南北向相向冲断的断裂系，温宿北断裂自南向北逆冲；上部新近系内发育自北向南的滑脱冲断系统，即古牧别孜断裂。这一构造特征主要与阿瓦提凹陷、温宿凸起、乌什凹陷与南天山造山带之间不同地质时期主应力作用方向上的差异有关；该断裂系统控制了乌什凹陷与温宿凸起的形成与演化。

温宿北断裂与南部沙井子断裂同期发育，温宿凸起显示出断垒的特性。受喜马拉雅早期造山作用的影响，断裂进入活跃期但仍具对冲的特征。喜马拉雅晚期强烈的挤压作用在东段以新生界的层间滑脱和前中生界的脆性相向冲断的构造形变方式吸收，因而温宿北断裂的活动并不强烈；西段可能因缺少吉迪克组下部的膏泥岩层，断裂以高角度脆性冲断的方式来消除外部施加的强大挤压应力。

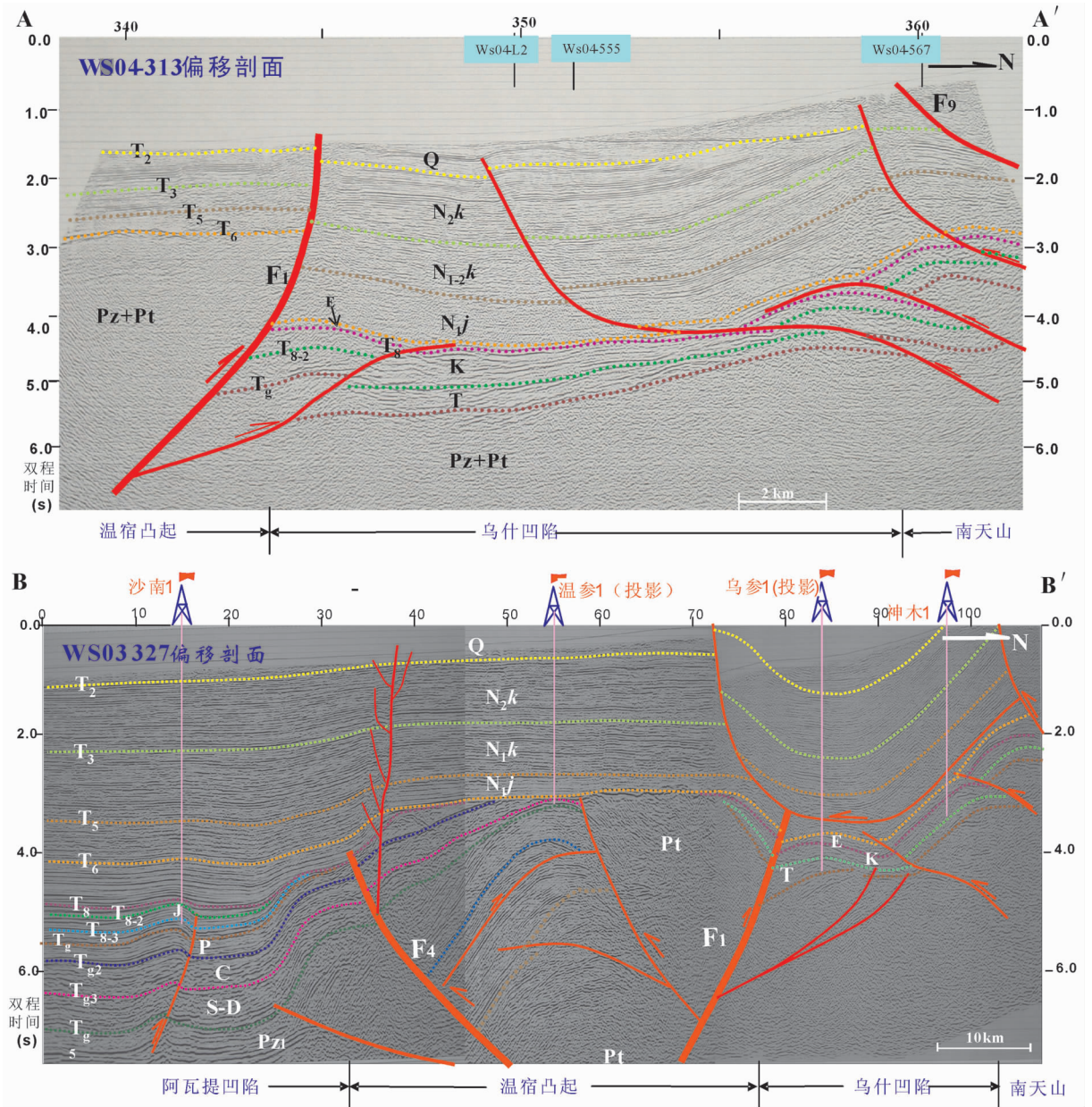


图 5 温宿北断裂南北向地震剖面

地震 WS04—313 剖面显示,温宿北断裂表现为高角度冲断;断面向上延至第四系;断距大,新生界底界垂直断距近 3000 m。地震 WS03—327 剖面显示,断裂表现为新生界的滑脱冲断和前中生界的基底卷入相向冲断的构造样式;受上部滑脱断层的影响,断裂上端仅切入吉迪克组

Fig.5 NS-trending post-stack migrated seismic profiles of (1) WS04-313; and (2) WS03-327 through Wensubei fault

The WS04-313 line shows that the Wensubei fault is a high-angle thrust fault cutting upward into the Quaternary. The fault offset is large with the throw at the base of Cenozoic around 3000 m. The WS03-327 line shows that the detachment thrusting in the Cenozoic is opposite to the basement-involved thrusting in the pre-Mesozoic. Controlled by the upper detachment zone, the fault top tip is located in the Jidik Formation

3 温宿北—野云沟断裂系的运动学特征

温宿北—野云沟断裂系的运动学模式在早古生

代与晚古生代存在差异,东部和西部在断裂活动强度与时序上亦有不同。该断裂系是以基岩内韧性剪切带为滑脱面自南而北逆冲,形成断层相关褶皱带,

于其前翼突破而形成锥形(图 6~8),故早奥陶世末断裂系的几何学样式和运动学模式在东、西段是近似的,只是逆冲断裂系规模东、西部存在差异。随挤压冲断作用的加剧,在断裂系的轮台、沙雅段于加里东期末、海西晚期发育叠瓦冲断构造(图 6),断裂活

动强度与抬升的幅度东段较西段的大。海西晚期南天山褶皱造山及施加于盆地的挤压作用,其冲断活动主要沿加里东期冲断系统的坡-坪式断面由北向南逆冲,在对前期断裂改造叠加基础上形成新的断裂系。此时,温巴什—野云沟断裂的活动强度远小于

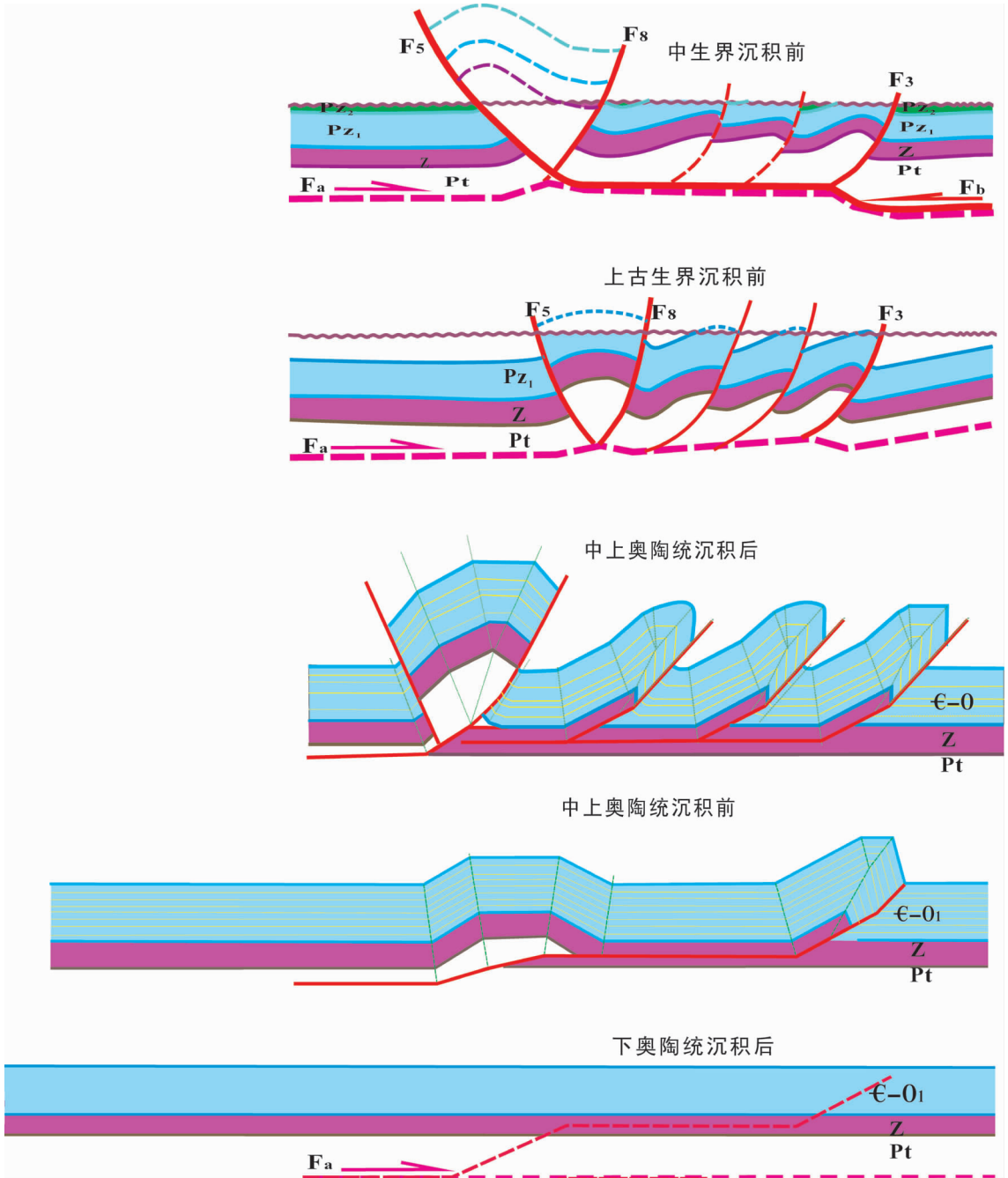


图 6 野云沟断裂系东部轮台段构造演化示意图

F₃—野云沟断裂;F₅—轮台断裂;F₈—二八台断裂

Fig.6 Schematic map showing tectonic evolution of the eastern segment of Yeyungou fault through Luntai area

F₃—Yeyungou fault; F₅—Luntai fault; F₈— Erbatiai fault

南部的沙雅—轮台、牙哈—二八台断裂,其中东段轮台断裂抬升的幅度大,在西部沙雅段牙哈断裂抬升强烈。

在断裂系中段(图 7),加里东期,温巴什断裂系表现为一向北逆冲的大型断层传播褶皱,其上发育有西秋 1、英买 7 等同期次级断裂,构成多个背形断垒带,但强度较弱;海西期,温巴什断裂系及次级断

裂系活动强度加大,背形断垒式组合样式已基本定型。此时英买力凸起呈北翼略陡、南翼低缓的不对称的向南西方向倾没的一大型凸起,而温巴什断裂则构成凸起的北界。

断裂系西段的温宿北断裂,在早奥陶世末为向北的逆冲断裂,南部的沙井子断裂可能尚未发育(图 8),温宿凸起表现为东高西低的大型断层传播褶皱

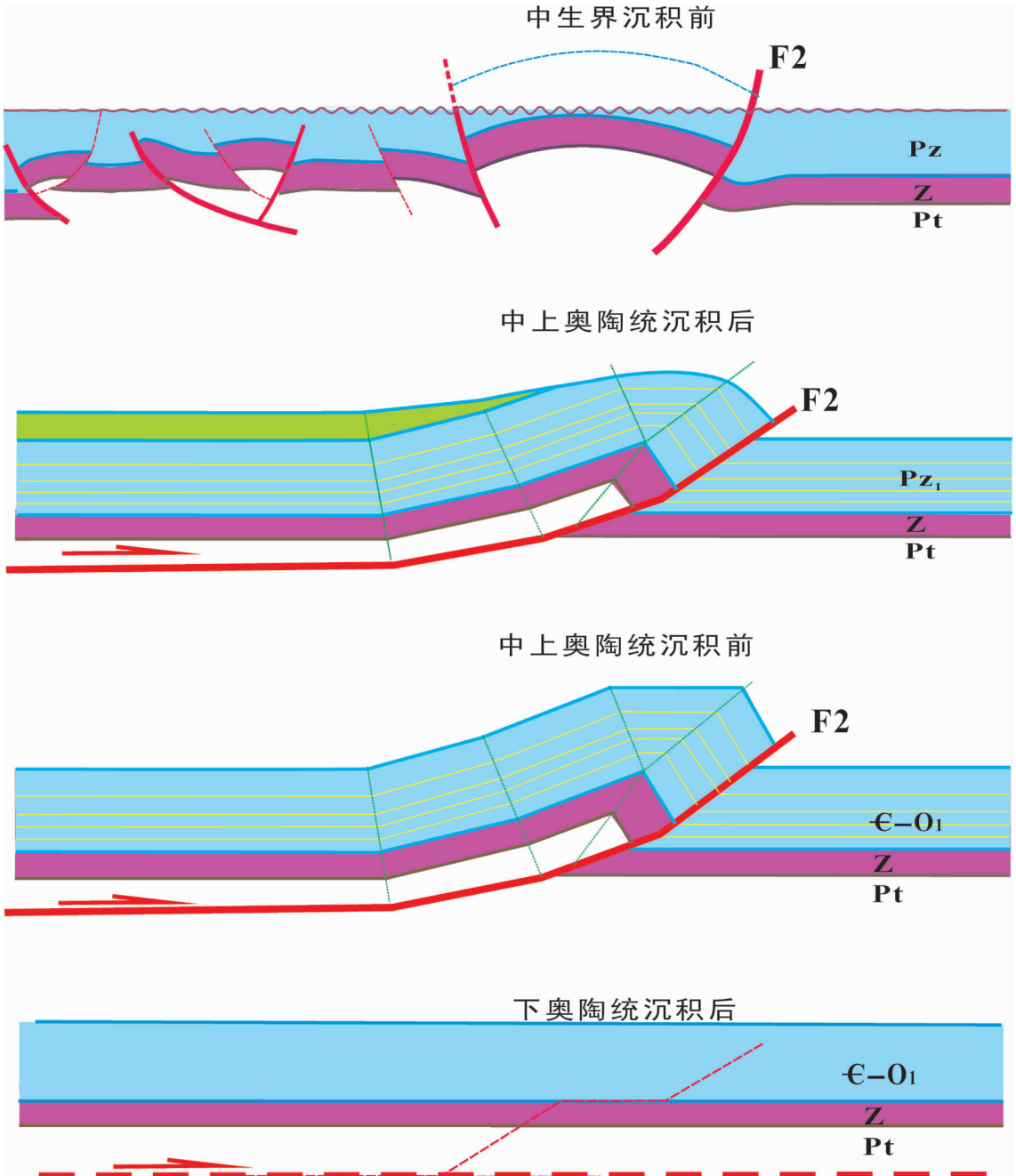


图 7 温巴什断裂构造模式演化示意图

Fig.7 Schematic map showing tectonic evolution of Wenbashi fault

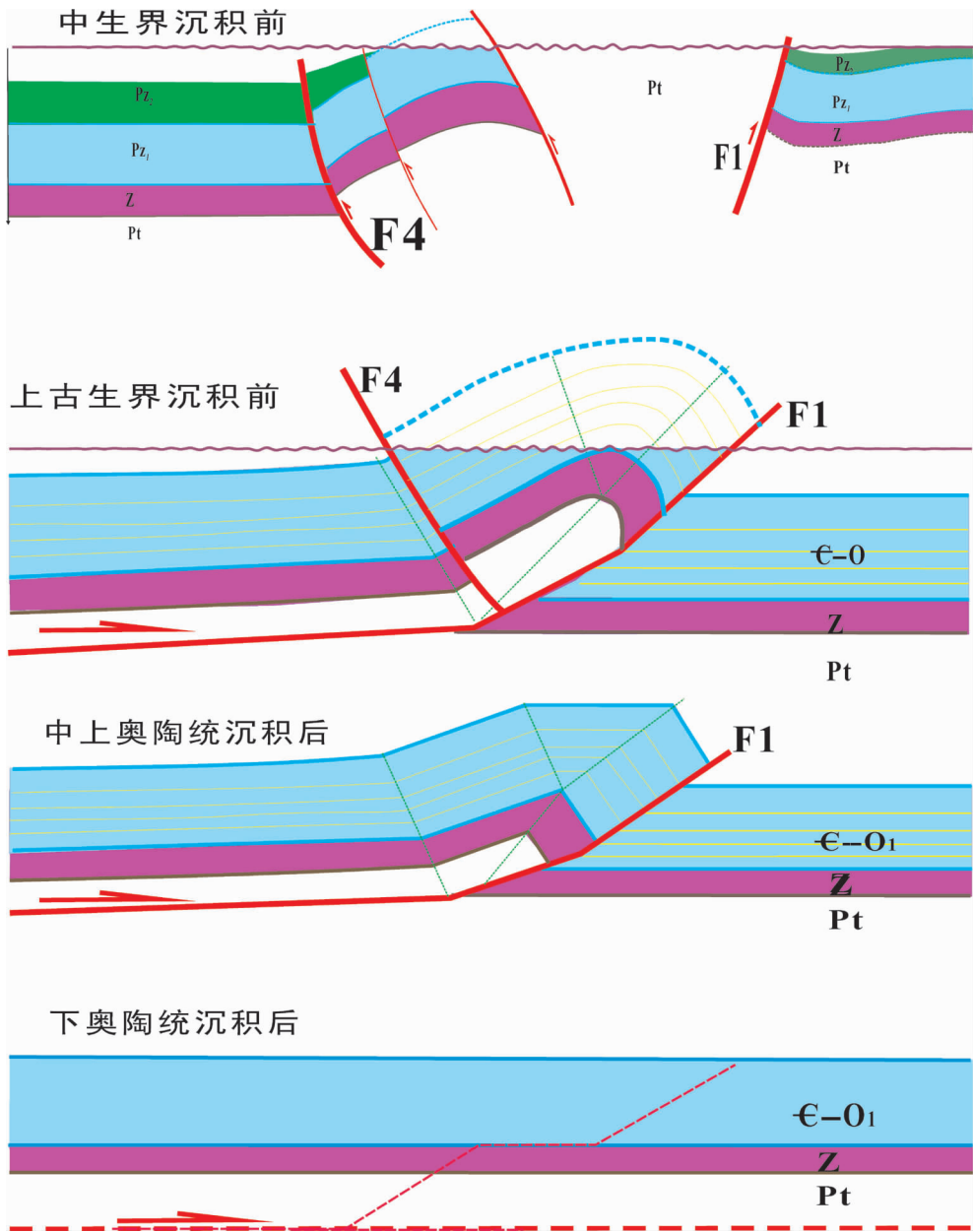


图 8 温宿北断裂构造模式演化示意图

F₁—温宿北断裂;F₄—沙井子断裂

Fig.8 Schematic map showing tectonic evolution of Wensubei fault

F₁—Wensubei fault;F₄—Shajingzi fault

背斜带;加里东末期,断裂活动强度较大,断裂系初具规模,沙井子断裂亦发育;海西晚期,来自南天山的推挤作用,温宿北断裂趋于活跃,断面变陡,抬升的幅度也较大,致使上盘残余的古生界层序被剥蚀殆尽,温宿北断裂及具有“断隆特征”的温宿凸起也基本定型。

综上所述,温宿北—野云沟断裂系是在向北逆

冲褶皱系的前翼(北翼)翼部突破的背景上发育的,断裂发育的早期以向北逆冲为主,并存在右行旋转,处于压扭构造环境,故段状的、北东走向的、相互间呈斜列的温宿北—野云沟断裂系在古生代末期已基本形成;海西期则受南天山向南挤压的制约,是断裂系的主要定型期,该期的派生次级逆断裂规模较小,断面陡直;平面上或斜交、斜列或平行于主干断裂

(图 9), 整体显示古生代塔里木地块呈右旋的区域构造环境, 结合前面的几何学特点不难确定温宿北—野云沟断裂系在古生代具有右行压扭性走滑的运动学特征(图 9)。

发育在隆起轴部中生界及新生界下部的沿古生界先存断裂展布的正断层系, 北东走向、断续, 相互间呈斜列, 在沙雅—轮台、牙哈—二八台及沙井子等主干断裂带上发育有负花状构造, 指示隆起主体区带处于张扭性构造环境; 沿温宿北—野云沟断裂系展布的则为逆断层, 断续、斜列, 显示压扭性构造环境(图 10); 依据小断裂与主干断裂间的组合关系以及相邻断裂系的组合特征, 认为温宿北—野云沟断裂系在喜马拉雅期具有压性左旋走滑的运动学特性(图 10)。

断层的发育与定型时期的确定可采用多种方法, 单一的方法往往存在一定的缺陷。在此根据断裂两侧地层厚度的变化趋势、断层所切割的地层、层序间的相互关系、断层相关褶皱样式、产状以及旁侧小断裂的性质等多种因素来综合分析断裂的演化规律。首先, 在图 2、图 3、图 5 所显示的地震剖面上, 残留的震旦系、寒武系—下奥陶统等古生界下部层序

在断层两侧的厚度基本一致, 其亚层序的产状与结构也相似, 说明断裂在早奥陶世之前尚未发育; 从断层的几何学研究可知, 温宿北—野云沟断裂是沿着断层传播褶皱前翼与向斜轴部发育起来的突破性断裂, 其形成的时间晚于褶皱开始形成的时间。其次, 温宿北—野云沟断裂带上盘普遍缺失上古生界及下古生界的上部部分层序, 两侧地层厚度相差较大, 下古生界灰岩顶面之上发育 O₂₋₃/O₁、C/AnC、T/PZ、J/T、K/AnK、KZ/AnKZ 等多个区域不整合面。第三, 中生界自库车坳陷向隆起区显示上超沉积特征; 在东段断裂未切入中生界, 向西逐渐进入古近系下部, 在乌什凹陷西段切截第四系; 中生界底界、古近系底界的位移量比较相近, 而在古生界底界则差异较大。第四, 在塔北隆起南侧轮南低凸起的南翼, TLM-Z55 剖面显示中上奥陶统向凸起区出现明显的超覆现象; 石炭—二叠系向北超覆减薄。综上所述, 可以认为温宿北—野云沟断裂具多期发育的特征: (1) 早奥陶世末期, 在大型台阶式断层转折褶皱的前方(塔北隆起的雏形), 于断层传播褶皱的前翼发生突破而形成早期断裂系的雏形(图 11~12); (2) 海西晚期, 伴随塔北隆起的形成, 北东—北东东走向

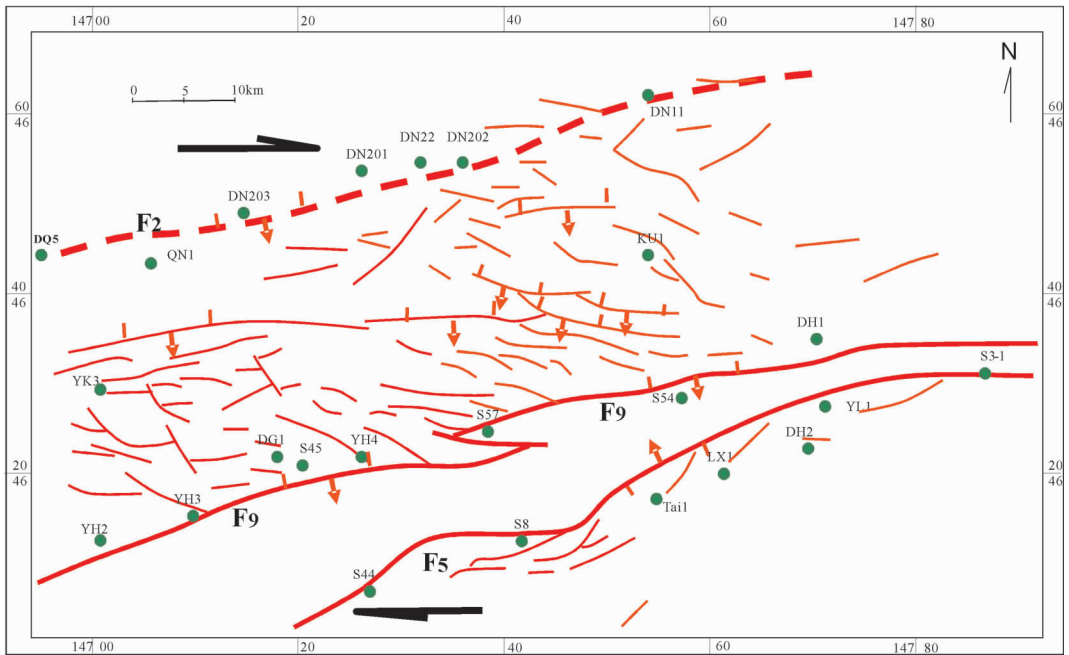


图 9 塔北隆起牙哈—二八台地区古生界底界断裂系统图

F₂—野云沟断裂; F₅—轮台断裂; F₉—牙哈—二八台断裂; 古生代处于右旋压扭构造环境

Fig.9 Map of the fault systems at the base of Paleozoic in the Yaha-Erbatai area of North Tarim uplift
F₂-Yeyungou fault; F₅-Luntai fault; F₉-Yaha-Erbatai fault. This area was under the transpressional setting during Paleozoic

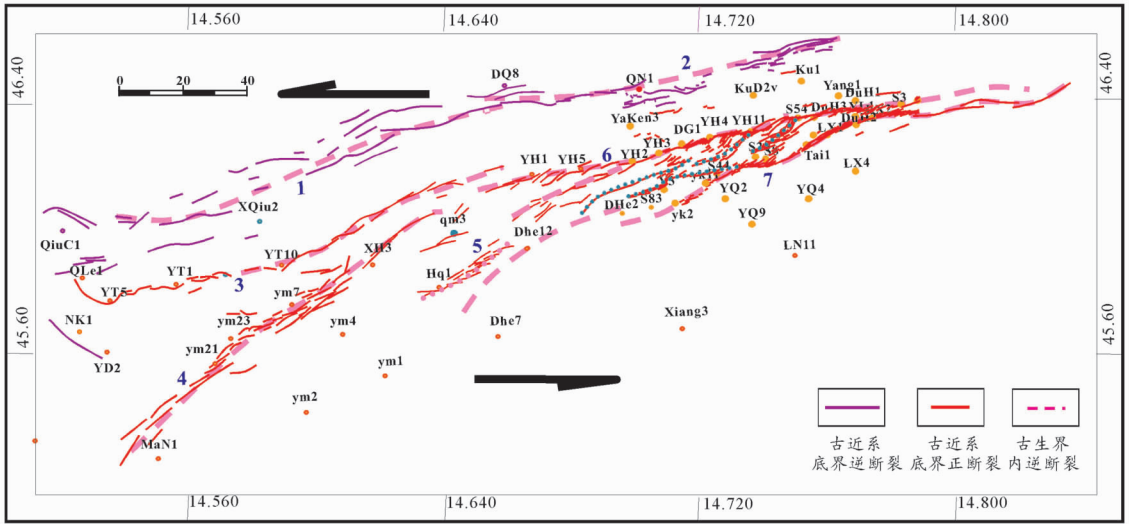


图 10 塔北隆起英买力、轮台凸起区古近系底界断裂系统图

燕山晚期—新近纪早期,塔北隆起主体处于张扭性构造环境,正断裂发育;隆起北翼至库车坳陷则处于压扭环境,发育逆冲断裂。1—西秋断裂带;2—东秋—迪那断裂带;3—羊塔克—大尤都斯断裂带;4—英买 7—新和断裂带;5—红旗断裂带;6—牙哈—二八台断裂带;7—沙雅—轮台断裂带

Fig.10 Map of the fault systems at the base of Paleogene in Yingmaili and Luntai areas of North Tarim uplift

The North Tarim uplift was mostly under the trans-tensional setting during the late Yanshanian–Neogene period, with the development of normal faults. The area from the north limb of the uplift to the Kuqa depression was under the transpressional setting, with the development of reverse faults. 1–West Qiulitag fault zone; 2–East Qiulitag– Dina fault zone; 3–Yangtak–Dayoudus fault zone; 4– Yingmai 7–Xinhe fault zone; 5–Hongqi fault zone; 6–Yaha– Erbatat fault zone; 7–Shaya–Luntai fault zone

三段斜列的温宿北—野云沟断裂系基本定型;(3)喜马拉雅中晚期,天山褶皱系造山作用逐渐趋强,温宿北—野云沟断裂再度活动。联井剖面显示(图 11),野云沟断裂东段上端多不延入中生界,仅在东西端的局部切入中生界,显然加里东早期—海西期是断裂的主要形成期,由平衡地质剖面显示,古生代的构造缩短量大于 8.9 km;喜马拉雅晚期活动微弱,可能与新生界膏盐岩发育分布有关。

在温宿北—野云沟断裂中段(图 12),断裂的上端切入古近系底部,冲断不太强烈,位移量较小,这一活动趋势可能与新生代膏盐岩层的发育程度及分布区域有关,来自北缘褶皱山系的强大挤压应力被滑脱层及上覆岩系的强烈构造变形所吸收,致使下伏层序变形较弱,但两者间具有相互影响与制约的关系。

乌什段的剖面显示(图 5),断裂以垂向冲断活动为主,横向位移较小,中新界向隆起区超覆减薄,东端断裂切入新近系吉迪克组下部,西端上延入第四系,说明加里东早期—海西期断裂基本定型后,喜马拉雅期仍有较强烈的活动。

断裂的垂向位错、横向位移及层序变形程度是断裂活动强度的直接体现。温宿凸起东部基岩出露,新近系吉迪克组直接覆盖其上(图 5),南缘残留的寒武系—下奥陶统向凸起区未见明显减薄,亚层序间近于平行;中上奥陶统呈上部超覆对下剥蚀的沉积特征;上古生界的石炭—二叠系向北缓慢减薄,上端被剥蚀尖灭;中生界在凸起南北边界的下部尖灭;凸起西部保留有较完整的古生界层序,向东逐渐缺失;在 WS04—313 地震剖面上(图 5)新近系底界落差大于 1400 ms,古生界顶界落差约 2400 ms,在断裂两侧可能存在古生界层序;凸起东部 WS05—347 地震剖面上新近系底界落差 300 ms,古近系底界落差 545 ms,古生界顶界落差约 730 ms,断裂上盘基岩出露;由此认为,温宿北断裂的东段海西期活动最强烈,西段则喜马拉雅晚期活动强度最大。在中、东段,断裂两侧保留有较多地层,通过分析基岩顶面、古生界顶面与新生界底界断裂的垂向断距,编绘断距平面变化图(图 13),认为古生界断裂活动强度由东向西增强,喜马拉雅期则自西向东趋强。在野云沟断裂段,古生界底界及内部各亚层序的识别困难,

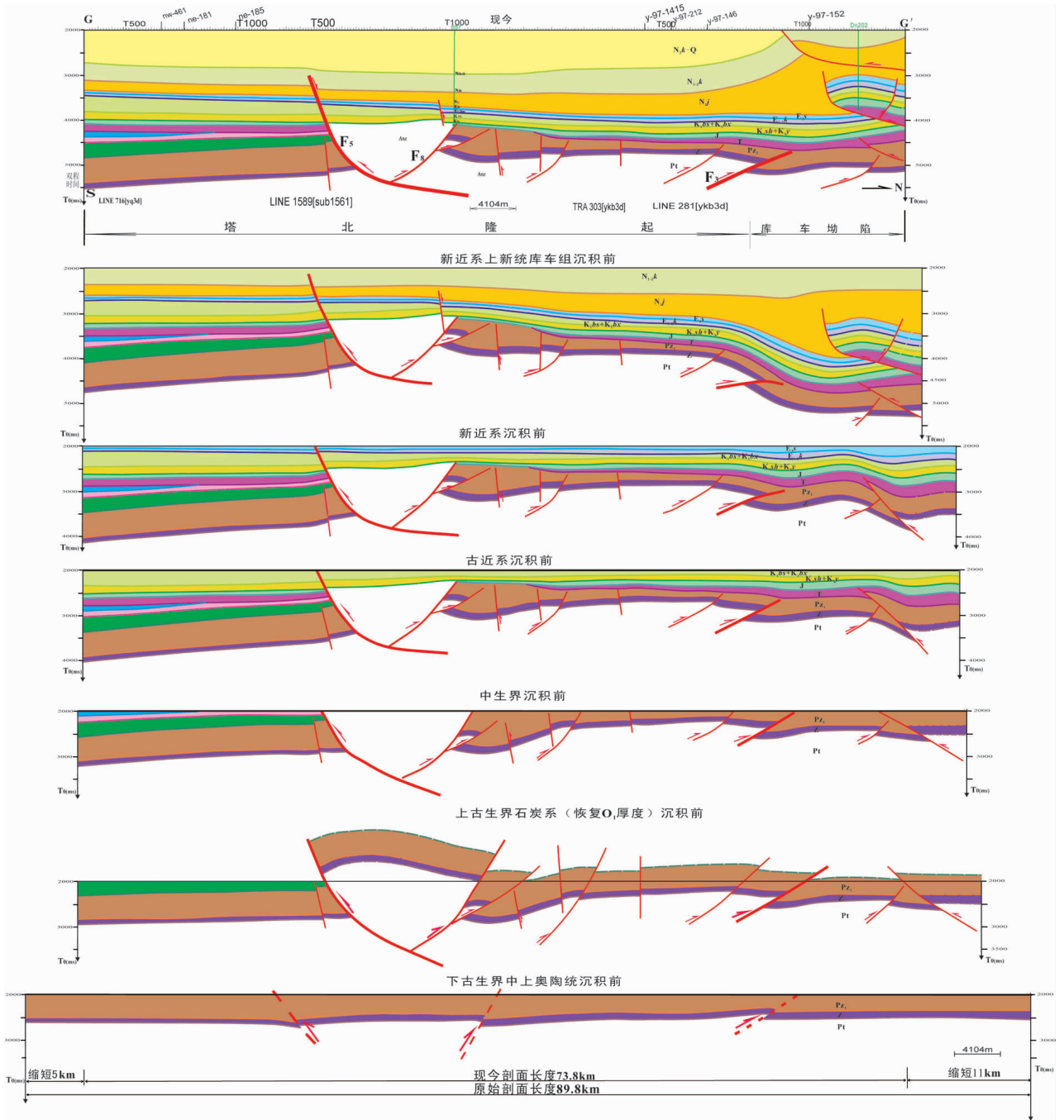


图 11 温宿北—野云沟断裂东段构造演化剖面图

联井剖面位于野云沟断裂的东段,显示断裂(F₂)于加里东晚期已具一定规模;海西晚期定型,与沙雅—轮台断裂(F₅)呈大型背冲组合;该期的构造缩短量约 8.9 km。喜马拉雅早期发育有张扭性正断裂,晚期活动微弱

Fig.11 Tectonic evolution profiles of the eastern segment of Wensubei-Yeyungou fault

This section runs across eastern Yeyungou fault. It shows that it had taken shape to some extent in the late Caledonian period, and formed the basic shape in the late Variscan period, thus constituting a large-scale back-to-back thrusting style with the Shaya-Luntai fault(F₅). The shortening in the period was around 8.9 km. It was characterized by trans-tensional normal faults in the early Himalayan period, and showed weak activity in the late Himalayan period

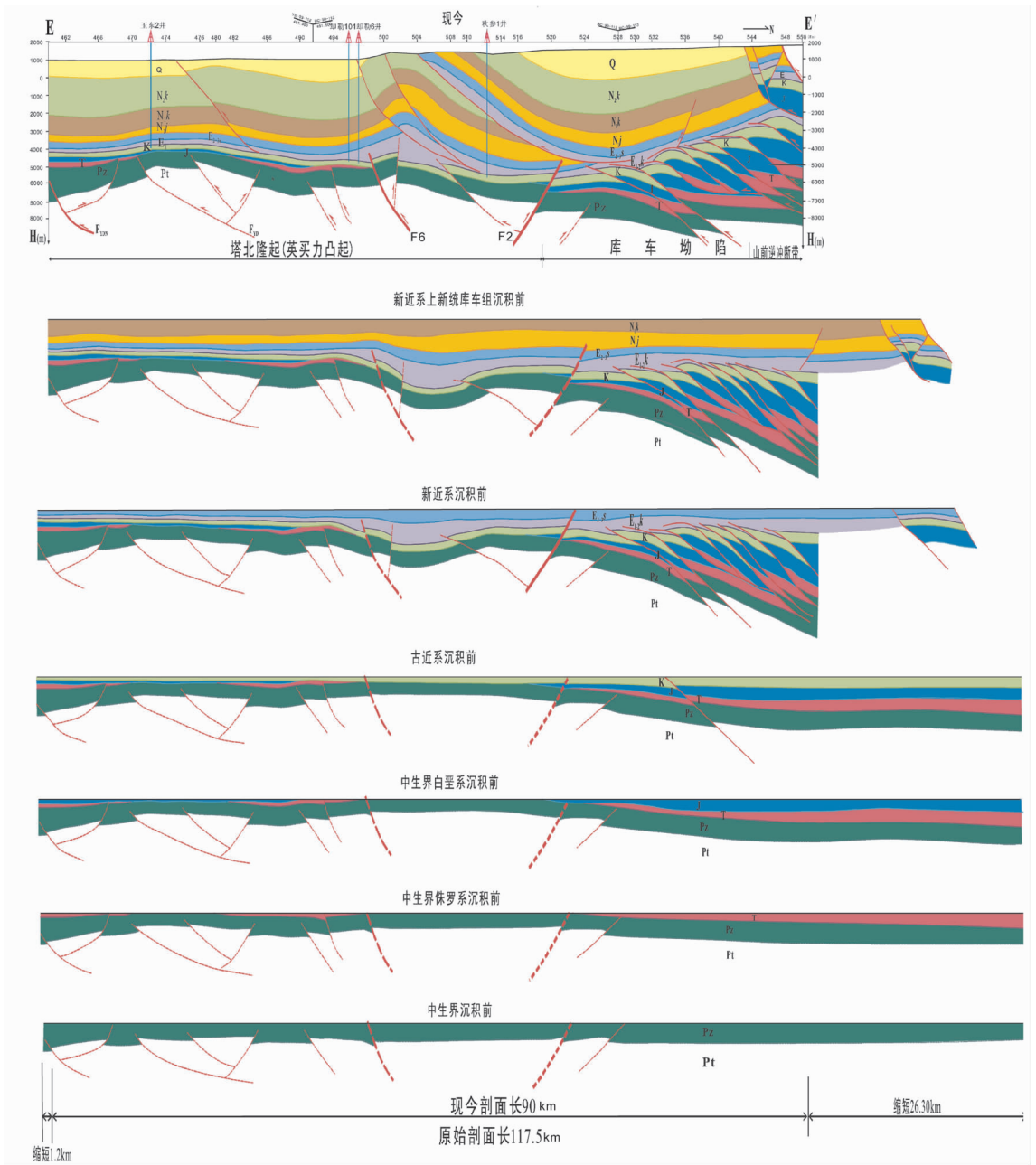


图 12 温宿北—野云沟断裂中段中生代构造演化剖面图(沿 YD03-112,BC99-112 和 BC99-113 测线) 剖面位于拜城凹陷西部南北向切过野云沟断裂,剖面显示野云沟断裂(F₂)在中生代的构造变形特征。

FYD—玉东断层;FYDN—玉东南断层

Fig.12 Tectonic evolution profiles of the middle segment of Wensubei-Yeyungou fault in the Mesozoic-Cenozoic period along the seismic lines of YD03-112,BC99-112 and BC99-113

The section runs southwardly across the western Baicheng depression, showing the structural deformation of Yeyungou fault in the Mesozoic-Cenezoic period. FYD: Yudong Fault;FYDN: Yudongnan Fault

但依据古生界与基岩内部反射波组特征、结构、产状,上覆中生界层序的产状、结构与分布趋势(图 2)以及相邻断裂间的相互关系等因素,认为加里东早期和海西期断裂活动的强度东段大,向西减弱;其

中早奥陶世末以轮台一带活动最为强烈,南部草湖凹陷区的中上奥陶统向北缘隆起区迅速减薄可证明这一演化特点;喜马拉雅期则由西向东减弱。

总体上,温宿北—野云沟断裂的活动强度在古

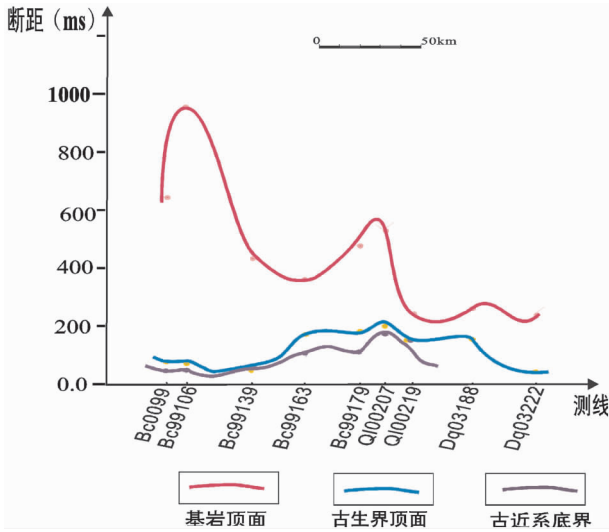


图 13 温宿北—野云沟断裂系中段垂直断距变化趋势图
Fig.13 Variation of fault throw along the middle segment of the Wensubei-Yeyungou fault system

生代呈东、西段强、中部弱的特征,喜马拉雅期则具自东向西逐渐增强的演化趋势。

4 温宿北—野云沟断裂系的成因机制

温宿北—野云沟断裂系的初始起因可能与早奥陶世末期来自塔里木南缘的挤压有关,北昆仑洋、阿尔金洋的俯冲消减与关闭,中昆仑地体与塔里木地块相碰撞是挤压产生的根源^[7-9]。

早奥陶世末期,北昆仑洋向南俯冲消减,中昆仑、阿尔金等地体与塔里木地块相碰撞^[9],其挤压应力向北传递,在塔北地区于基底滑脱面之上形成一系列向北逆冲的冲断褶皱(图 2~3,图 6~7),持续的挤压使褶皱隆起的前翼与向斜轴部发生破裂,形成沿隆起走向展布的并制约隆起发育的大型逆冲断裂系,这些规模巨大的纵向断裂系因横向(转换)断裂带的切割而呈段状,段与段呈北东走向的斜列式展布,显示塔里木地块右旋的特征^[7]。奥陶纪末期,挤压更加强烈,基岩滑脱面之上冲断楔的滑移与叠置也较强烈,塔北隆起及两翼的温宿北—野云沟、沙雅—轮台、牙哈—二八台、英买 7、秋里塔格 1、2 号等主干逆冲断裂亦初具规模,具有背冲断垒特征的温宿、英买力、轮台凸起已具雏形,而温宿北—温巴什—野云沟断裂系、沙雅—轮台断裂系亦有限定塔北隆起(温宿、英买力、轮台凸起)演化与展布的特性;冲断、褶皱与隆升作用致使断裂上盘及隆起轴部

寒武—奥陶系受到剥蚀(图 11~12)。

二叠纪晚期,南天山洋盆最终闭合,伊犁—中天山地体与塔里木地块拼合,成为塔北隆起及周缘断裂系发育定型的主要动力机制^[7,8]。南天山洋盆的关闭具有东早西晚呈剪刀状闭合的特点,因此自北而南的构造挤压过程也是由东向西演化的,施加于盆地北部强烈的压扭作用驱使隆起区上覆层序沿加里东期断裂的坡—坪系统向南向上滑动(图 2~3),其新生的逆冲断裂叠加、改造、复合于前期先存断裂之上,形成现今古生界逆冲断裂系统。该期主体断裂多继承前期断裂背形垒式组合特征,平面呈带状北东走向斜列式展布,这一构造格局的定型与盆地的旋转、相邻地体的斜向走滑活动有关。

印支—燕山期北塔里木区处于挤压高峰期之后的松弛时期,褶皱、逆冲、隆升逐渐由剥蚀、沉积与沉降作用所取代。欧亚大陆南缘新特提斯洋的演化成为影响塔里木地区间歇性伸展—聚敛并以伸展环境为主体的主要因素。这一构造演化趋势及地层分布特征表明,印支晚期—燕山期温宿北—野云沟、沙雅—轮台、牙哈—二八台等断裂系进入调整时期,这一过程首先以东部提尔根、二八台区段的沉降开始,并逐渐扩展至西部英买力凸起。燕山晚期—古近纪早期的沉、隆过程中,塔北隆起区断裂活动并不强烈。

古近纪晚期印度板块与欧亚板块的初始碰撞并向北推挤与西构造结地区的楔入(帕米尔突刺),至新近纪早期,南天山造山带施加于盆地的挤压作用,使温宿北—野云沟断裂系再度活动,但强度较弱。在东段(图 2),因迪那、依奇克里克、依南—明南断裂等的发育,野云沟断裂段的活动并不明显;在中段,因古近系膏盐岩层的存在,其挤压应力被盐上层的褶皱、冲断等构造变形所吸收,因而盐下古断裂的逆冲活动强度也不大(图 4);西段的温宿断裂(图 5),新近系吉迪克组虽呈填平补齐的沉积特征,但在中西部断裂冲断隆升的幅度要比东部区段大。持续的逐渐增强的区域性的挤压致使库车拗陷挠曲沉陷加剧,而隆起区则处于相对隆升状态,由此在隆起区产生伸展环境,这种隆拗间的构造环境差异形成了前陆拗陷区的逆冲断裂系与隆起区的张性正断裂系^[6,9-12],沙雅—轮台、牙哈—二八台、英买 7 等先存古断裂发生反转,形成沿先存断裂展布的带状的连续的相互斜列的规模较小的正断裂系(图 9)。

新近纪晚期,天山褶皱带的造山作用日趋增强。

来自北部的持续、逐渐增强的挤压作用,南天山山前及库车坳陷变形强烈,于库车前陆区形成南冲的北倾逆冲断裂系统;至库车组沉积晚期,挤压冲断变形已传递到隆起区,强烈的挤压作用其一导致古近系、新近系膏盐岩流动、聚集形成多种盐构造;其二导致盐上层序褶皱冲断隆升,形成具有薄皮特性的滑脱褶皱山系——东、西秋里塔格山;其三诱导古生界先存断裂再度活动;三者间具有共同的变形机制,这也使得塔北隆起区断裂具有继承、叠加、复合的演化特征。温宿北—野云沟断裂系处于库车坳陷的挤压构造环境,东、中段因中生界煤系、新生界膏盐层的存在,其挤压作用被层间滑脱与褶皱冲断等构造变形所吸收,断裂活动强度较弱;东段未见再活动的痕迹;中段的古近系底界的断距仅为几十米至几百米,并延续了加里东期以来的背形垒块组合样式;西段因其强烈挤压作用直接导致温宿北断裂的强烈冲断。

5 温宿北—野云沟断裂系对油气运聚成藏的影响

塔北隆起及库车坳陷区已发现的油气藏多沿主要断裂带展布,说明油气成藏作用多与断裂发育有关^[13-18]。研究表明,塔北隆起区的油气源存在“南海北陆、中部混源”的特点^[10]。温宿北—野云沟断裂系位于隆起与库车坳陷间的斜坡带上,对隆起北缘断裂相关构造圈闭、岩性或地层圈闭的发育以及对捕获来自库车坳陷三叠—侏罗系陆相油气具有明显的控制作用。断裂既制约断层相关圈闭的发育,也是油气运移的良好通道,加之断裂与伴生圈闭的演化时期与库车坳陷烃类的生成、运聚存在有效的时空匹配关系。迪那油气区带的发现亦可佐证这一点^[15]。

温宿北—野云沟断裂系以及发育在上盘的却勒、羊塔克、西秋、新河—大尤都斯等具背冲形态的断垒带,具有断裂发育、定型期早,圈闭类型好、近源、盖层厚度大、储集体系与输导系统良好的成藏条件;迪那、却勒、羊塔克已获得工业油气发现,故断裂系以及南部的西秋、新河—大尤都斯断裂带、东部的阳霞断裂带都具有良好的油气运聚成藏环境。

6 结 论

(1)温宿北—野云沟断裂系在重磁场与反射地震剖面上具有清楚的反映,为塔北隆起的北部边界断裂,呈 NE-NEE 走向,长达 600 km,自西向东由温

宿北断裂、温巴什断裂和野云沟断裂三段构成,其间为库车与喀拉玉尔滚等横向断裂带所分割。断裂系是沿基底韧性剪切带发生滑脱构造变形而形成的。

(2)该断裂系是在早奥陶世末沿基底软弱带自南向北逆冲形成的大型断层相关褶皱带基础上在前翼发生突破而形成的;加里东末期初具规模;二叠纪末期,受由北向南的强烈挤压,形成自北而南的逆冲构造系统,该逆冲系统迁就原加里东期的滑脱面发育,并对原来的逆冲系统进行叠加、改造,使得该断裂带基本定型,形成一系列小断块叠加的大型背冲断裂系统;喜马拉雅期塔北隆起轴部发育张扭性构造系统,该断裂系遭受左旋压扭,断裂的活动时序自东向西趋晚。该断裂带具有长期演化、多期发育、继承、叠加与复合的特征。

(3)该断裂系的活动强度具有古生代强烈、中生代—新生代早期弱化、新生代晚期趋强的“强—弱—强”的演化趋势;在横向上整体呈西部强烈、东部略弱的特征。这主要与早奥陶世末期北昆仑洋关闭、二叠纪末期南天山洋关闭、古近纪新特提斯洋关闭引起的周缘地体与塔里木地块的碰撞拼合相关,表现出周缘板块构造事件对板内变形的强烈影响。

(4)该断裂系是重要的油气富集带。研究其成因与演化有助于该带油气勘探的拓展,例如西秋断裂带的油气发现。

参考文献(References):

- [1] 贾承造,魏国齐,姚慧君,等.塔里木盆地油气勘探丛书——盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995:1-70.
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Yao Huijun, et al. Oil and Gas Exploration Books in Tarim Basin - Tectonic Evolution and Regional Structural Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995:1-70(in Chinese with English abstract).
- [2] 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,1996:1-167.
He Dengfa, Li Desheng. Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation in Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:1-167(in Chinese).
- [3] 何登发,白武明,孟庆任.塔里木盆地地球动力学演化与含油气系统旋回[J].地球物理学报,1998,4(增刊):77-87.
He Dengfa, Bai Wuming, Meng Qinren. Geodynamic evolution and petroleum system cycle in Tarim Basin [J]. Acta Geophysical Sinica, 1998, 4 (supp.):77-87(in Chinese).
- [4] 贾承造,孙德龙,周新源,等.塔里木盆地石油地质与勘探丛书——塔里木盆地板块构造与大陆动力学[M].北京:石油工业出版社,2004:1-202.

- Jia Chengzao, Wei Guoqi, Yao Huijun, et al. Petroleum Geology and Exploration Books in Tarim Basin——Plate Tectonic and Continental Dynamics[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004: 1-70(in Chinese with English abstract).
- [5] 崔军文, 唐哲民. 塔里木盆地构造格架和构造应力场分析 [J]. 岩石学报, 2011, 27(1):231-242.
- Cui Junwen, Tang Zheming. Tectonic framework of the Tarim basin and its tectonic stress field analysis [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1):231-242(in Chinese with English abstract).
- [6] 张宗命, 贾承造. 塔里木克拉通盆地内古隆起及其找油气方向[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 1997, 12 (3) :8-13.
- Zhang Zongming, Jia Chengzao. Palaeohighs in craton basin of Talimu and the exploration objectives[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute(Natural Science Edition), 1997, 12 (3) :8-13(in Chinese with English abstract).
- [7] Jia Chengzao. Tectonic characteristics and its petroleum Tarim Basin in China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1997:1-438.
- [8] 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 207-221.
- He Dengfa, Zhou Xinyuan, Yang Haijun, et al. Formation mechanism and tectonic types of interior cratonic paleo-uplifts in Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15 (1):207-221(in Chinese with English abstract).
- [9] He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Chaojun, et al. Ordovician proto-type basins and its evolution in Tarim Area [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(Supp. 1):164-177.
- [10] He Dengfa, Jia Chenzao, Liu Shaobo. Dynamics for multistage pool formation of Lunnan low uplift in Tarim Basin[J], Chinese Science Bulletin, 2002, 47:128-138.
- [11] 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(自然科学版), 2000, 24(4):67-70.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Pang Xiongqi. Hydrocarbon migration and accumulation models of superimposed basins [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(4):67-70(in Chinese with English abstract).
- [12] He Dengfa, Li Desheng, Wu Xiaozhi, et al. Basic types and structural characteristics of uplifts:An overview of sedimentary basins in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2009. 83(2):321-346.
- [13] Jia Chenzao, He Dengfa, Shi Xin, et al. Characteristics of hydrocarbon late-stage pool formation in China [J]. Science in China(Series D), 2006, 49(9):947-959.
- [14] 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
- He Dengfa, Jia Chengzao, Zhou Xinyuan, et al. Control principles of structures and tectonics over hydrocarbon accumulation and distribution in multi-stage superimposed basins [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 26(3):1-9(in Chinese with English abstract).
- [15] 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 库车坳陷的地质结构及其对大油气田的控制作用[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1):19-33.
- He Dengfa, Zhou Xinyuan, Yang Haijun, et al. Geological structure and its controls on giant oil and gas fields in Kuqa depression, Tarim basin: a clue from new shot seismic data [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(1):19-33(in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡学林, 彭大钧. 塔里木盆地变形构造格局及其动力学模式:兼论楔入造山推覆模式[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(2):29-39.
- Cai Xuelin, Peng Dajun. Tectonic framework and dynamic model of Tarim basin: implication for wedging orogenesis [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24 (2):29-39 (in Chinese with English abstract).
- [17] Li D, Liang D, Jia C, et al. Hydrocarbon accumulations in the Tarim basin, China[J]. AAPG Bull., 1996, 80:1587-1603.
- [18] 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):315-319.
- Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the Tahe Oilfield in the Tarim basin and its prospects [J]. Geology in China, 2003, 30 (3):315-319(in Chinese with English abstract).

Geometry and kinematics of Wensubei–Yeyungou fault and its implication for the genetic mechanism of North Tarim uplift

HE Deng–fa, SUN Fang–yuan, HE Jin–you, WEN Zhu, HE Juan, SONG Zhen–yun

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The structural deformation of paleo–uplifts in the cratonic basin is an ideal place to explore the deformation behaviors in the interior of the tectonic plates and the continental ductile structural geology, with the study of faulting being a breakthrough point in this aspect. Based on the newly acquired geophysical data and the recently finished exploratory wells, this paper discusses the fault systems of the north Tarim uplift of the Tarim basin, especially the geometry and kinematics of the northern boundary fault of Tarim basin. It is discovered that the Wensubei–Yeyungou fault acts exactly as the northern boundary fault, having distinct reflections in the gravitational and magnetic fields as well as along the seismic profiles. It is 600 km in length, and is composed of three segments from west to east, i.e., Wensubei fault, Wenbashi fault, and Yeyungou fault. It was first produced at the end of Early Ordovician, resulting from the breakthrough at the front limb of a large fault–related fold system caused by the subduction of the thrust fault into the basement ductile detachment zone from the south to the north. It took its shape at the end of the Caledonian movement. By the end of Permian period, responding to the strong compression from the north, the southward thrust tectonic system not only took the shape of the former detachment zone, but was also superimposed upon and modified the former Caledonian thrust tectonic system, giving rise to a large–scale anti–form thrust system consisting of a series of small–scale fault blocks, and made the whole fault zone take its shape finally. During the Himalayan movement, the tensile–torsional fault system was developed along the axial zone of the north Tarim uplift. The Wensubei–Yeyungou fault zone was subjected to sinistral transpression, and the re–activation was propagated from the east to the west. Hence it was characterized by prolonged evolution, multi–stage development, inheritance, superposition, and compounding. It had a marked trend of a strong–weak–strong evolution process, namely, the activity was strongest in the early Paleozoic, became weakened or calm in the Mesozoic–early Cenezoic period, and got stronger once again in the late Cenezoic. The faulting in the western segment was possibly much stronger than that in the eastern segment. Its formation was largely related to the collision between the Tarim continental block and the peripheral terrains due to the closing of the North Kunlun Ocean at the end of the early Ordovician, the closing of the South Tianshan Ocean at the end of Permian, and the closing of the Neo–Tethyan Ocean in the Paleogene respectively. These phenomena suggest the important influences of the adjacent plate tectonic events upon the intra–plate deformation. The fault zone seems to be an important oil and gas accumulation zone. The study of the mechanism and evolution is helpful to the expansion of hydrocarbon exploration in the area, as evidenced by the discovery of oil and gas resources in the Xiqu anticlines.

Key words: Wensubei–Yeyungou fault system; fault geometry; kinematics; basement detachment zone; North Tarim uplift, Tarim basin

About the first author: HE Deng–fa, male, born in 1967, doctor, professor, engages in the study of basin structural analysis and petroleum exploration evaluation; E–mail: hedengfa282@263.net.