

文章编号: 0253-9985(2006)04-0475-07

生长地层及其在判断天山北缘前陆冲断褶皱带形成时间上的应用

郭召杰¹, 方世虎¹, 张锐¹, 张志诚¹, 吴朝东¹, 邵奎政²

(1. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871;

2. 中国石油天然气股份有限公司大庆油田有限责任公司勘探分公司, 黑龙江大庆 163000)

摘要: 新生代以来天山北缘前陆冲断褶皱带自南向北可分为山麓冲断褶皱带、霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁冲断褶皱带、独山子-安集海冲断褶皱带 3 排构造带。在野外观察的基础上, 结合地震剖面分析, 确定了各排构造带生长地层发育层序; 结合裂变径迹年龄证据, 并根据现有磁性地层等年代学资料, 确定了天山北缘晚新生代构造变形时间序列: 第一排构造带形成于距今 10 Ma 以来; 第二排构造带形成于距今 7~2.58 Ma 以来; 第三排构造带形成于距今大约 0.73 Ma 后。

关键词: 生长地层; 冲断褶皱带; 形成时间; 天山北缘; 晚新生代

中图分类号: 112.2 文献标识码: A

Growth strata and their application in timing deformation of foreland thrust-fold belts in the north margin of Tianshan

Guo Zhaojie¹, Fang Shihui¹, Zhang Rui¹, Zhang Zhicheng¹, Wu Chaodong²

(1 Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871;

2 Exploration Division of PetroChina Daqing Oilfield Company LTD, Daqing, Heilongjiang 163000)

Abstract Three foreland thrust-fold belts, the Piedmont, the Huoerguosi-Manasi-Tugulu, and the Dushanzi-Anjihai, formed since the Cenozoic are recognized from south to north in the north margin of Tianshan. The sequences of growth strata developed in each belt have been established based on field observation and seismic interpretations. The fission-track dating evidences and available magnetostratigraphic data are also used in the timing of the Late Cenozoic tectonic deformation: the Piedmont formed since about 10 Ma, the Huoerguosi-Manasi-Tugulu formed from 7 to 2.58 Ma, and the Dushanzi-Anjihai formed after about 0.73 Ma.

Key words growth strata; thrust-fold belt; deformation time; north margin of Tianshan; Late Cenozoic

印-藏碰撞所引起的构造变形分布于碰撞带以北 2 000~3 000 km 的广大地区, 强烈的构造作用明显改造了中亚的大部分区域, 使原有构造格局更加复杂化^[1, 2]。其中天山向两侧盆地的冲断抬升导致巨厚的中生界-新近系沉积剖面剥露至地表, 天山北缘由南向北发育了 3 排冲断褶皱带, 第四纪以来的地层和沉积物也卷入褶皱并受到断层的错断。

前人研究曾认为天山北缘第一排构造形成于中生代末期^[3, 4]。晚白垩世时期, 冈底斯地块与拉

萨地块发生碰撞, 这次运动的影响范围和强度可能很小, 准噶尔盆地在此时期处于一个较为稳定的时期, 上白垩统东沟组与古近系紫泥泉组整合接触。但是, 天山南缘的库车再生前陆盆地的冲断构造形成始于 25 Ma 左右^[5], 塔里木盆地沿西昆仑和天山山前的沉积碎屑磷灰石裂变径迹年龄为 25~13 Ma^[1, 6], 反映天山南侧的新生代构造主要形成于中新世以后。裂变径迹数据系统分析表明, 准噶尔盆地南缘主要存在晚渐新世-中新世和上新世以来冷却年龄, 地层沉积特征和时间-

收稿日期: 2006-07-06

第一作者简介: 郭召杰(1963-), 男, 教授, 造山带与盆地构造

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409804)课题资助

温度曲线模拟表明天山北缘的快速剥蚀主要发生于晚中新世 (10 Ma) 以来^[7~9]。

有研究成果认为第二排构造形成于上新世和早更新世之间^[4], 天山北缘西域砾岩底部的磁性地层学年龄为 2.58 Ma^[10] 或者 3.1 Ma^[11]。本文根据地震剖面西域砾岩上部显示为明显的生长地层, 独山子背斜第三系样品的裂变径迹 $t-T$ 模拟曲线上主要显示 2 Ma 的更新世年龄, 表明其形成时间可能与西域砾岩的沉积时期相近, 主要形成于 2 Ma 以来。

1 利用生长地层判断构造运动时间 / 速率

生长断层相关褶皱作用理论是断层相关褶皱理论讨论同沉积变形现象的自然延伸。同构造沉积物 (生长地层) 是构造活动的直接记录。

Suppe 等^[12] 提出了生长地层、生长三角的概念, 并建立公式^[12]

$$v = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{L_x - L_y}{t_x - t_y} \quad (1)$$

式中 v 为生长三角的平均生长速率, m/m a; ΔL 为已知年龄的两个地层单元之间褶皱翼部宽度, m; Δt 为两个地层年龄之差, Ma。

利用计算机模拟技术可以由新到老逐期逐层地剥离不同地质时期的构造变形层, 分构造期次, 最终恢复冲断褶皱带的构造变形史。图 1a 表示断层滑移引起的褶皱生长三角。

由于用公式 (1) 结果只能代表下伏断坡上断层段的滑动速率。对一个完整的生长断层转折褶皱来说, 可以有两个生长三角提供计算 (图 1b), 一个是下盘断坡上的生长三角 (BB'N), 还有一个是上盘断坡上的生长三角 (AA'M)。理论上这两个生长三角的生长速率是不相等的, 它们分别与下伏上、下盘断坡上的断层滑动速率有关。从图 1b 中可以看出, 如果逆冲断层的运动速率为 a , 在到达前断坪继续向前运动时, 速率只有 c , 而 c 与 a 及断坡坡角 (θ) 有如下的关系^[12]

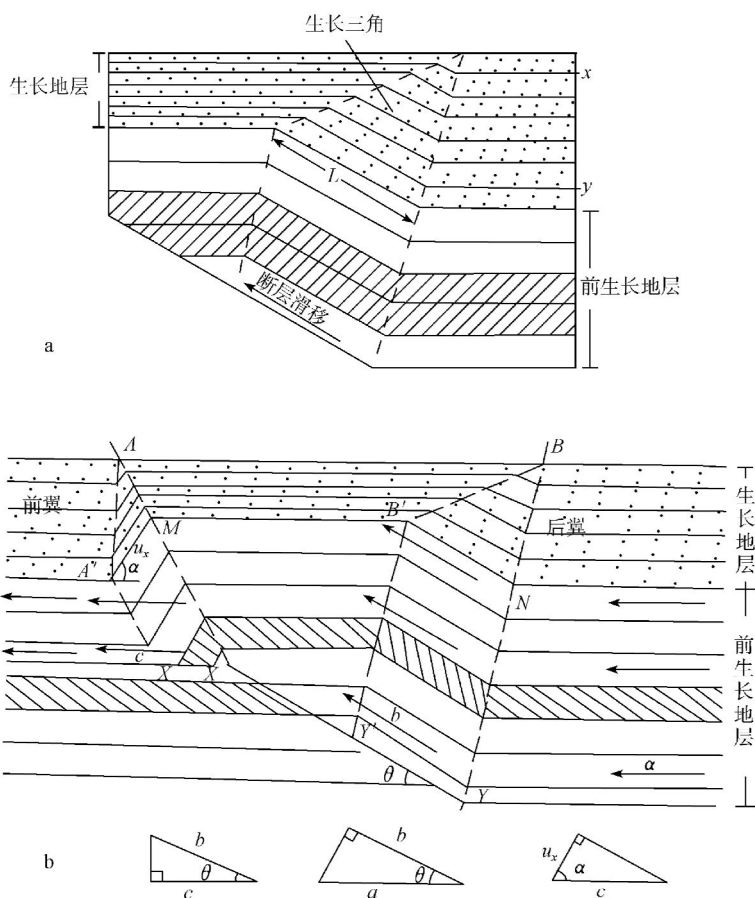


图 1 生长断层转折褶皱位移速度矢量关系^[12]

Fig. 1 Displacement vs velocity of growth fault bend fold^[12]

a 为下盘断坡断层或生长三角示意图; b 为完整的生长断层转折褶皱示意图

$$c = b \cos \theta = a \cos \theta \cos \theta = a \cos^2 \theta \quad (2)$$

此公式中 b 相当于公式 (1) 中的 v_x 断坡坡角 θ 对于特定的剖面是一定值 (已知的)。而 c 也可以通过公式 (2) 计算, 只是必须注意对于上盘断坡生长三角 $AA'M$ 来说其生长速率 v_x 与 c 之间还要考虑上盘断坡坡角 (α) 的影响。其关系为^[12]

$$c = \frac{v_x}{\cos \alpha} \quad (3)$$

因此, 对于任意的生长断层转折褶皱通过计算生长三角的生长速率就可能将下伏冲断面总体运动速率 α 计算出来, 只是必须注意确认生长三角是前翼的还是后翼。天山北缘褶皱冲断带广泛发育生长褶皱, 不但在地震剖面上可以识别出生长三角带, 而且在野外露头也已观察到, 可以用来确定天山北缘前陆逆冲带的形成时间和运动速率。

2 天山北缘第一排冲断构造带形成时间分析

近年来, 用生长地层确定构造形成时间及变形速率在天山两侧再生前陆盆地得到了很好的应用^[15, 9, 13~15]。本文通过系统分析天山北缘第一排构造带喀拉扎背斜周缘地区 (图 2 方框所示 1) 新近系生长地层的沉积学特征和接触关系, 结合裂变径迹年龄分析结果, 确定天山北缘第一排构造的形成时间主要是晚中新世以来。

2.1 地层特征

野外剖面分析, 卷入乌鲁木齐西侧头屯河地区第一排构造的地层有侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系, 其中侏罗系—古近系—新近系变形强烈并遭受剥蚀, 形成了现今复杂的地貌地形和地层分布 (图 3 图 4)。

新近系独山子组 ($N_{1-2}d$) 和塔西河组 (N_{1t}) 在山前及喀拉扎背斜以南 (图 3 图 4 中 B 和 D 处) 均有出露。其中独山子组岩性可以分为上中下 3 段: 上部 ($N_{1-2}d^{\text{上}}$) 以灰色、黄灰色砾岩为主; 中部 ($N_{1-2}d^{\text{中}}$) 为黄灰色砂质砾岩与砂泥岩互层, 向上含细粒硬砂岩; 下部 ($N_{1-2}d^{\text{下}}$) 以土黄色块状砂质泥岩和砂质砾岩互层为主, 局部可与细粒硬砂岩互层, 在喀拉扎背斜以南地区岩性较粗, 以砂质砾岩为主。塔西河组岩性以浅土红色块状砂质砾岩夹泥质硬砂岩为主, 局部呈互层。

古近系—上白垩统在本区分为沙湾组 (E_3s) 和东沟群 ($K_2 - E_{1+2}$), 在山前及喀拉扎背斜以南 (图 3 图 4 中的 B 处) 均有出露。沙湾组在本区表现为土红色与薄层灰色泥岩不均匀互层, 中下部为含砾岩及钙质硬砂岩。东沟群包括上白垩统东沟组 (K_2d) 和古近系的部分地层 [紫泥泉子组 ($E_{1-2}z$) 和安集海河组 ($E_{2-3}a$)], 上部为浅红色含砾砂质泥岩夹薄层灰色泥岩、砂质泥岩, 中部为土红色块状砾岩, 夹 2~3 层钙质砂砾岩, 下部为

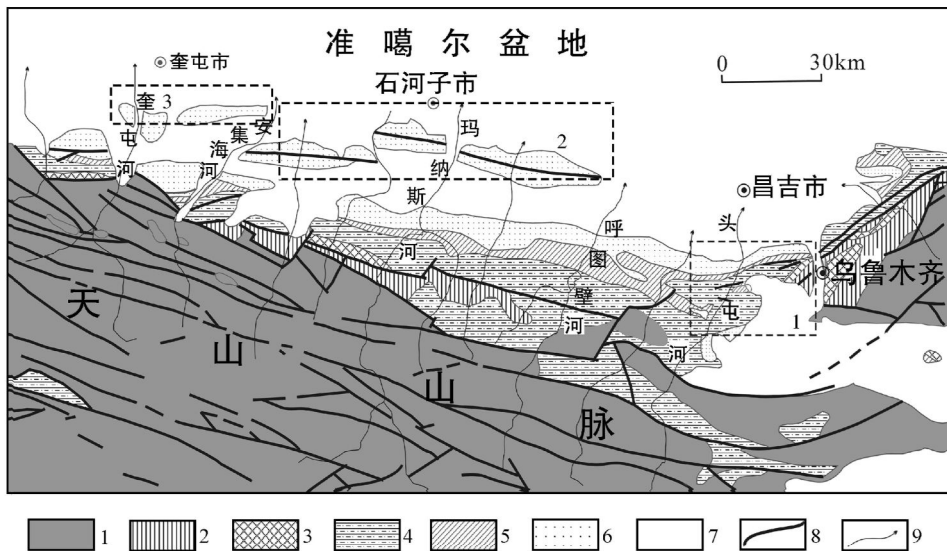


图 2 天山北缘前陆冲断带构造简图 (方框 1, 2, 3 分别为 3 排冲断褶皱带形成时间研究区域)

Fig. 2 Simplified structural map of foreland thrust-fault belt in the north margin of Tianshan

1—石炭系及更老地层; 2—二叠系; 3—三叠系; 4—侏罗系; 5—白垩系;

6—第三系; 7—第四系; 8—断层; 9—水系

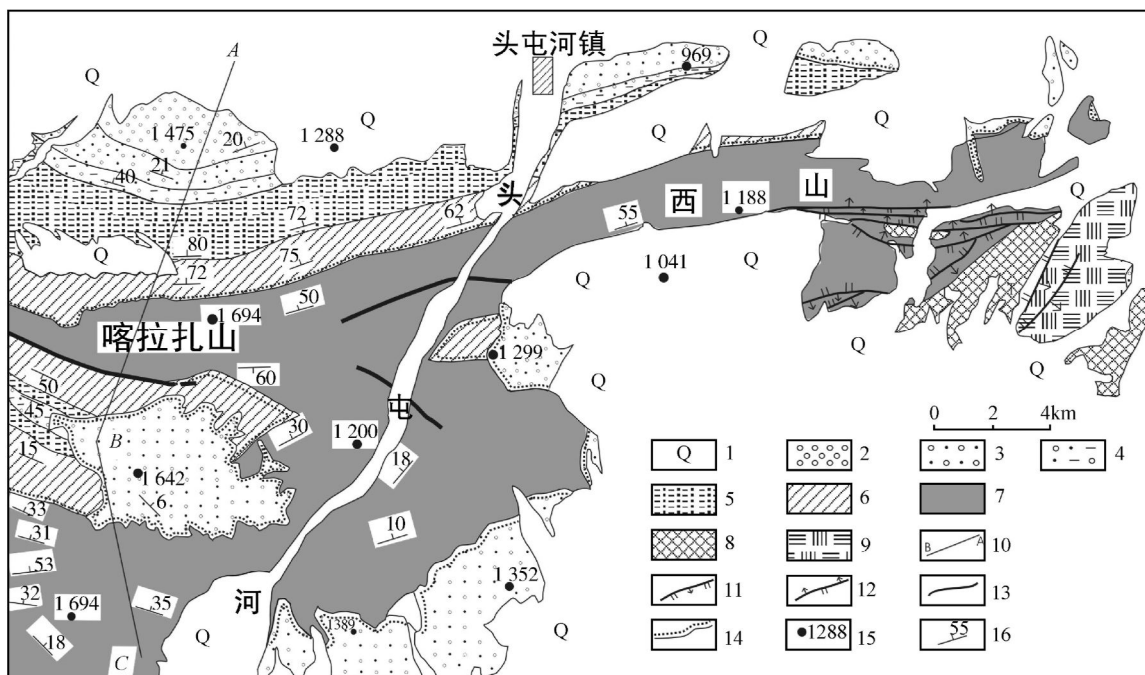


图 3 喀拉扎背斜及其周缘地区地质图 (作图位置见图 2 方框 1)

Fig. 3 N-S geologic map of Kalazha anticline and its adjacent area

1—第四系 (Q); 2—独山子组上段 ($N_{1-2}d^{\pm}$); 3—独山子组中下段 ($N_{1-2}d^{\mp+中}$); 4—塔西河组 (N_1t); 5—上白垩统与古近系 (K_2d+E); 6—下白垩统吐谷鲁群 (K_1tg); 7—侏罗系 (J); 8—三叠系 (T); 9—二叠系 (P); 10—剖面位置; 11—正断层; 12—逆断层; 13—不明断层; 14—不整合; 15—海拔高度点; 16—岩层产状

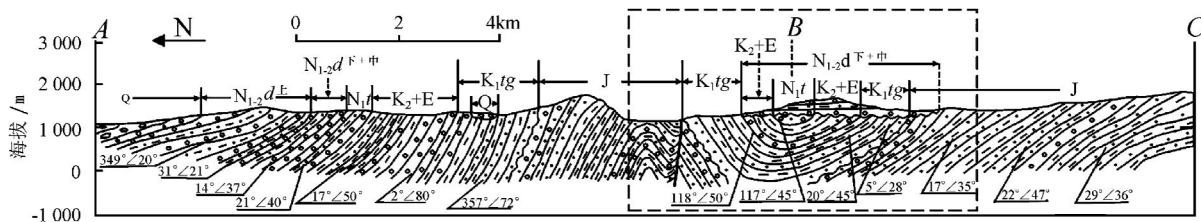


图 4 喀拉扎背斜南北向剖面图 (剖面位置见图 3 方框中为图 5 范围)

Fig. 4 N-S geologic section of the Kalazha anticline

黄灰色、紫红色薄层泥岩夹泥质砂岩及灰绿色砾岩,东沟群地层在喀拉扎背斜以南以土红色块状砾岩为主,夹泥质条带。

下白垩统吐谷鲁群 (K_1tg) 上部为紫红色薄层钙质泥岩、灰绿色薄层泥岩,向下夹细粒硬砂岩及泥灰岩,下部以紫红色泥岩夹灰绿色薄层泥岩,向下见灰绿色薄层泥岩夹细粒硬砂岩及泥灰岩,底部见硬砂岩和砾岩。

侏罗系上统的喀拉扎组 (J_3k) 和齐古组 (J_3q) 为一套以砂岩、砂砾岩为主的组合, J_3k 在喀拉扎背斜以南岩性稍有变粗,层厚变薄。中统头屯河组 (J_2t) 岩性为紫褐色、灰色泥岩与薄层砂岩、褐灰色砾状砂岩互层,下部砂砾岩增多;中统西山窑组 (J_2x) 中上部为厚—巨厚层灰色泥岩中下部为厚—巨厚层灰色砂岩夹中厚层煤。下统三工河组 (J_1s)

中上部为厚—巨厚层灰色泥岩为主,底部为—巨厚层砂岩、砾状砂岩、砂砾岩;下统八道湾组 (J_1b) 为灰绿色泥岩、黑灰色页岩与灰绿色中粒长石砂岩,夹薄煤层或煤线。

2.2 地层接触关系

通过野外勘查结合 1:20 万地质图绘制了图 3 中所示 A—B—C 剖面。侏罗系—新生界均被卷入这一排构造中,喀拉扎背斜南部 B 处的地层叠置关系中有一个明显的角度不整合,侏罗系—新近系塔西河组遭受褶皱变形,不整合面之上的新近系独山子组中下部砂质泥岩和砂质砾岩互层系则近于水平 (倾向北北东,倾角 $\leq 6^\circ$) (图 4)。

而在喀拉扎背斜以北地层倾角和叠置关系是渐变的,独山子组与下伏地层塔西河组表现为整合

接触关系。独山子组内部自下而上地层产状变化较大,其底部地层倾角接近 40° ,至独山子组上段地层倾角为 20° 左右,表现为生长地层的特征(图4)。

结合喀拉扎背斜地区地层分布及剖面上地层接触关系分析,在喀拉扎背斜南侧的塔西河组及其下伏地层经受明显的变形和剥蚀作用,而其后沉积的独山子组中下段含砾层系则近乎水平,喀拉扎背斜以北的独山子组及第四系沉积呈现明显的生长地层特征(图4),表明独山子组含砾层系沉积时期与喀拉扎背斜的形成是同期的,是受同构造作用控制的沉积序列。

2.3 构造变形时间讨论

Suppe等^[12]和 Shaw等^[16]提出的生长断层转折褶皱和生长地层、生长三角的概念为构造形成定时提供了一个有力工具。由于生长地层可能记录褶皱生长的全过程,因此,分析同构造沉积物的结构、识别生长地层可以认识褶皱生长的过程,为分析构造形成时间提供证据^[14-13]。

由于印-藏板块碰撞的远程效应,新生代以来天山再次活跃,构造活动增强,形成陆内造山带,天山两侧开始发育与陆内造山带相关的再生前陆盆地^[2]。印-藏碰撞作用引起的陆内俯冲及地壳缩短作用是再生前陆盆地和前陆冲断带形成的主要机制,在前陆冲断带形成过程中,形成与逆冲断层相关的同期构造和生长地层。

独山子组砾岩层系沉积时期,喀拉扎地区构造活动已经开始,此时沉积速率小于或接近隆升速率,先期形成的塔西河组遭受一定的剥蚀作用,喀拉扎背斜以南的塔西河组厚度明显小于其北部山前地带的塔西河组厚度,残留的塔西河组下部岩性以土红色块状砂质砾岩夹砂泥岩为主,喀拉扎背斜南北可对比性良好。随着构造活动的进行,沉积速率大于构造隆升速率,此时在遭受剥蚀和变形的塔西河组之上接受部分独山子组下段和独山子组中段,但是构造顶部的沉积厚度明显小于两侧的厚度,在塔西河组与独山子组之间形成生长不整合面(图4),独山子组下段岩性在喀拉扎背斜南北可以直接对比,均以土黄色砂泥岩和砂砾岩互层为主,但喀拉扎山以南的岩性较粗;独山子组中段则以黄灰色砂质砾岩与砂泥岩互层,向上含细砾硬砂岩,喀拉扎背斜南北的岩性差异

较小。独山子组沉积晚期和第四系沉积时期,强烈的构造隆升使得沉积速率小于隆升速率,构造顶部缺失灰色-黄灰色砾岩的独山子组上段和第四系沉积,前期形成的独山子组中段遭受剥蚀,形成现今的复杂地形地貌(图3图4),与此同时,在喀拉扎背斜北侧形成独山子组上段及第四系巨厚沉积,以填充式沉积为主。因此,在喀拉扎背斜以北,独山子组与下伏塔西河组表现为整合接触关系,但在独山子组内部自下而上地层产状变化较大,由底部地层倾角接近 40° 变化到上部地层倾角为 20° 左右,表现为生长地层的特征。在喀拉扎背斜以南地区塔西河组地层遭受剥蚀和变形,与上覆独山子组形成角度不整合,独山子组中、下段沉积厚度明显小于喀拉扎背斜以北地区,缺失独山子组上段和第四系沉积。

结合地层学和构造演化分析,本文以为,独山子组是本区发育的一套与喀拉扎背斜同构造变形的沉积序列(生长地层),在不同沉积速率与隆升速率变形控制下,经过剥蚀-沉积-剥蚀的复杂构造过程,形成现今的复杂地形地貌。

前人的观点多倾向于第一排构造形成于中生代末期^[3-4]。通过对喀拉扎背斜周缘地层分布及剖面上地层接触关系分析,在喀拉扎背斜南侧的塔西河组及其以前的地层发生显著变形,而其后沉积的独山子组中下段则近乎水平。因此本文以为,喀拉扎背斜应该是独山子组的同沉积构造,地震剖面上的新近系也表现为明显的生长地层(图4)。裂变径迹年龄分析及 $t-T$ 曲线模拟结果表明,准噶尔盆地南缘主要存在中新世以来(特别是 10 Ma以来)的快速隆升^[7-8]。此外,喀拉扎背斜北部第三系样品的裂变径迹 $t-T$ 模拟曲线上也显示 5 Ma左右的上新世冷却年龄^[7-8],这些证据表明,包括喀拉扎背斜在内的天山北缘第一排构造可能形成于独山子组沉积时期,距今最多 10 Ma左右。

3 天山北缘其他构造带的形成时间

准噶尔盆地南缘西部山前构造带的几排构造带是前陆冲断带向盆地不断传播的过程中形成的,因此第一排构造带的变形最强烈,形成时间最早。对喀拉扎背斜及其周缘地区的地层岩石学分析结果表明,喀拉扎背斜可能并不是形成于前人

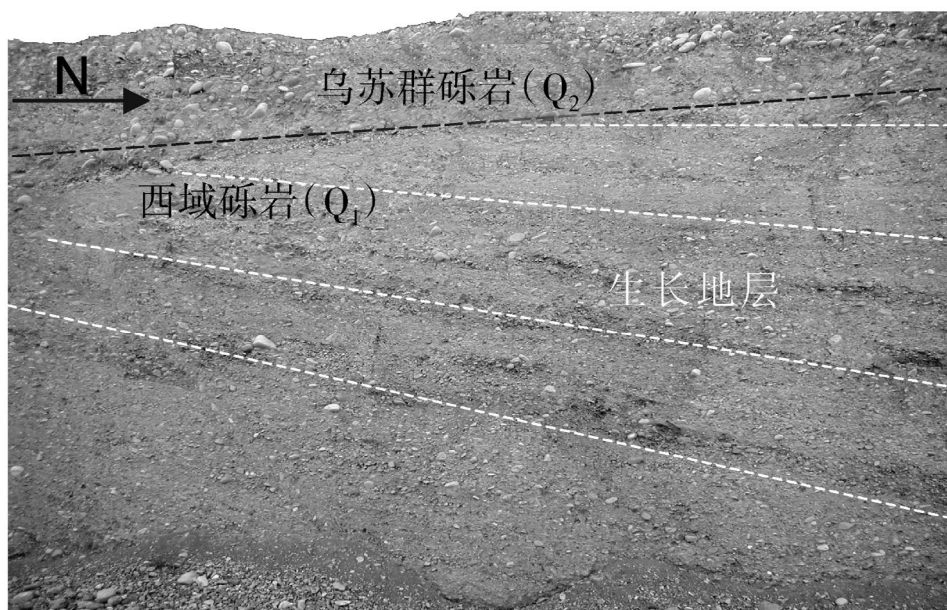


图 5 准噶尔盆地南缘吐谷鲁背斜北翼 (西域组上部发育的生长地层
表明该背斜发育于西域砾岩上部沉积时)

Fig. 5 Photo showing the growth strata (Q_1) in the northern limb of Tugulu anticline in the south margin of Junggar basin



图 6 准噶尔盆地南缘安集海背斜北翼 (乌苏群内发育的生长地层)

Fig. 6 Photo showing the growth strata (Q_2) in the northern limb of Anjhai anticline in the south margin of Junggar basin

所说的中生代末期,而是形成于独山子组沉积时期的晚中新世—上新世,距今最多 10 Ma 左右,包括喀拉扎背斜在内的天山北缘第一排构造带也基本形成于这一时期。10 Ma 以来,天山北缘前陆冲断带持续扩展,形成现今地表可见的 3 排冲断褶皱带 (第一排、第二排和第三排)。

第二排构造带 (图 2) 中各背斜主要由两部分构成,上部突破地表的推覆断层部分切割了断层下盘的背斜构造,表明上部构造形成较晚。以霍—玛—吐构造带为典型构造的第二排构造变形较强烈,一般有 2~3 条断层突破至地表,地震剖面上显示,独山子组上部及西域砾岩见生长三角,表明其形成时间较晚,主要是上新世以来形成的背斜

带。野外勘查发现,吐谷鲁背斜北翼、南安集海背斜北翼的第四系西域砾岩中发育生长地层 (图 5),天山北缘独山子背斜的西域砾岩底部的磁性地层学年龄为 2.58 Ma 左右^[10-11],表明天山北缘第二排构造的形成时间可能在西域砾岩开始沉积后,应该不早于 3 Ma。

第三排构造带 (图 2) 中的独山子背斜地震剖面上西域砾岩显示为明显的生长地层,安集海背斜未见西域组地层出露,但乌苏群砾石层直接以角度不整合覆盖在独山子组之上,倾角 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$,与覆盖其的乌苏群砾岩层呈角度不整合接触关系 (图 6),据此可以推测,西域砾岩和乌苏群是第三排构造中的生长断层,据此推测该构造形成于更

新世以来,暂取中更新世大约 0.73 Ma 以来。

4 结论

根据天山北缘冲断褶皱构造带中生长地层的发育层序,结合磁性地层学以及裂变径迹年龄数据,确定了天山北缘三排冲断褶皱带的构造变形和隆升时间:第一排山麓冲断褶皱带形成于距今 10 Ma 以来,第二排霍-玛-吐冲断褶皱带形成于距今 7~2.58 Ma 以来,第三排独山子-安集海冲断褶皱带形成于距今 0.73 Ma 以来。

致谢:感谢中国石油天然气股份有限公司贾承造院士、魏国齐教授和李本亮高工给予的支持和帮助;感谢在研究中南京大学贾东教授、浙江大学汪新教授给予的有益讨论和交流。

参 考 文 献

- Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tianshan: an early effect of the India-Asia collision [J]. *Geology*, 1994, 22: 487-490
- Lu Huaifu, David G Howell, Jia Dong, et al. Rejuvenation of the Kuqa foreland basin, north flank of the Tarim Basin, Northwest China [J]. *International Geology Review*, 1994, 36: 151-158
- 张培震, 邓起东, 杨晓平, 等. 天山的晚新生代构造变形及其地球动力学问题 [J]. *中国地震*, 1996, 12(2): 127-140
Zhang Peizhen, Deng Qidong, Yang Xiaoping, et al. Late Cenozoic tectonic deformation and mechanism along the Tianshan Mountain, Northwest China [J]. *Earthquake Research in China*, 1996, 12(2): 127-140
- 邓起东, 冯先岳, 张培震, 等. 乌鲁木齐山前拗陷逆断裂-褶皱带及其形成机制 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 191-201
Deng Qidong, Feng Xianyue, Zhang Peizhen, et al. Reverse fault and fold zone in the Urumqi range-front depression of the northern Tianshan and its genetic mechanism [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 191-201
- 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等. 库车新生代构造性质和变形时间 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 215-221
Lu Huaifu, Jia Dong, Chen Chuming, et al. Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structure [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 215-221
- Sobel E R, Dumitru T A. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim basin during the India-Asia collision [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102 (B3): 5043-5063
- 郭召杰, 吴朝东, 张志诚, 等. 乌鲁木齐后峡地区侏罗系沉积特征、剥露过程及中生代盆地关系讨论 [J]. *高校地质学报*, 2005, 11(4): 558-567
Guo Zhaojie, Wu Chaodong, Zhang Zhicheng, et al. Mesozoic-Cenozoic relationships between Tianshan mountain and peripheral basins: evidences from sedimentology and exhumation of Jurassic in Houxia area, Urumqi [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(4): 558-567
- 郭召杰, 张志诚, 吴朝东, 等. 中-新生代天山隆升过程及其与准噶尔-阿尔泰山比较研究 [J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 1-15
Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, Wu Chaodong, et al. The Mesozoic and Cenozoic exhumation history of Tianshan and comparative studies to the Junggar and Altai mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 1-15
- 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 天山北缘前陆冲断带形成时间的地层学证据 [J]. *新疆地质*, 2004, 22(1): 24-29
Fang Shihu, Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, et al. Stratigraphic evidences for dating of the foreland thrust along the northern margin of Tianshan [J]. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(1): 24-29
- Sun J M, Zhu R X, Bowler J. Timing of the Tianshan mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasse deposits [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 219: 239-253
- Charreau J, Chen Y, Gilder S, et al. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the Neogene Kuitunhe section (northwest China): implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshan mountains [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 230: 117-192
- Suppe J, Chou G T, Hook S C. Rate of folding and faulting determined from growth strata [A]. In: McClay K R, eds. *Thrust tectonics* [C]. London: Chapman and Hall, 1992: 105-122
- 汪新, 贾承造, 杨树锋. 南天山库车褶皱冲断带构造几何学和运动学 [J]. *地质科学*, 2002, 37(3): 372-384
Wang Xin, Jia Chengzao, Yang Shufeng. Geometry and Kinematics of the Kuqa fold-and-thrust belt in the South Tianshan [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002, 76(1): 55-63
- 孙晓猛, 张梅生, 龙胜祥, 等. 秦岭-大别造山带北部逆冲推覆构造与合肥盆地、周口坳陷控盆断裂 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 191-198
Sun Xiaomeng, Zhang Meisheng, Long Shengxiang, et al. Overthrust tectonic in northern Qinling-Dabie orogenic belt and basin-controlling faults in Zhoukou depression and Hefei basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 191-198
- 郑和荣, 李铁军, 蔡立国, 等. 中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 156-161
Zheng Herong, Li Tiejun, Cai Liguo, et al. Petroleum geologic conditions in foreland thrust-and-fold belts in west-central China and proposals for exploration [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 156-161
- Shaw J H, Suppe J. Active faulting and growth folding in the eastern Santa Barbara Channel, California [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1994, 106: 607-626

(编辑 高岩)