

南天山库车冲断褶皱带构造变形时间

——以库车河地区为例

汪 新¹⁾ 贾承造²⁾ 杨树锋¹⁾ Aurelia Hubert-Ferrari³⁾ John Suppe³⁾

1) 浙江大学地球科学系, 杭州, 310027; 2) 中国石油天然气股份公司, 北京, 100083

3) Geosciences Department, Princeton University, Princeton NJ 08544, USA

内容提要 本文利用野外调查结果、二维地震反射剖面、钻井和测井数据建立了一条横穿库车河地区的南北向构造剖面, 将库车冲断褶皱带划分为北部褶皱带、克依构造带、秋立塔格背斜带和亚肯背斜带。作者在库车冲断褶皱带北部发现了渐新世—中新世角度不整合, 在库车南部亚肯背斜和东秋立塔格背斜顶部发现了构造生长地层, 通过确定构造生长地层的底界, 利用库车河地区古近系(下第三系)—第四系磁极柱, 判断亚肯背斜和东秋立塔格背斜构造生长地层的沉积时代为 5.2 ± 0.2 Ma。上述结果暗示库车冲断褶皱带北部山前带的变形始于渐新世, 并且经历了中新世、上新世的构造改造, 南部秋立塔格背斜带和亚肯背斜带形成较晚, 可能是上新世开始变形, 而且变形活动持续至今, 由此看来库车冲断褶皱带的变形时代由北向南变新。作者估算东秋立塔格背斜上新世以来(5.2 ± 0.2 Ma)的构造变形量为7.5 km, 变形速率为1.5 mm/a。

关键词 冲断褶皱带 变形时间 构造生长地层 上新世 库车河地区 新疆

库车冲断褶皱带位于天山南缘中段, 属南天山新生代冲断褶皱带的一部分[陈楚铭等(图1), 1999]。由于库车地区新生界为陆相地层, 缺少古生物化石和同位素定年资料, 确定库车冲断褶皱带构造变形的时间面临许多困难。Yin 等(1998)以海相地层的消失为依据, 推测库车的构造变形始于21~24 Ma; 卢华复等(1999)认为库车褶皱带自北向南由天山向塔里木盆地扩展, 褶皱带北部的变形始于中新世, 南缘前锋带形成于更新世; Brown 等(1998)和 Burchfiel 等^①研究库车山前带的活动断层, 提出库车的变形主要发生在第四纪, 显然上述结论分歧明显, 鉴于变形时间对库车冲断褶皱带构造演化的重要性, 作者认为这方面的研究还需努力。

近年来, 塔里木石油股份公司在库车山前带部署了二维地震测线和钻井, 这些资料揭露了库车冲断褶皱带地下构造特征, 尤其是隐伏断层和褶皱的几何学和运动学性质, 摆脱了过去仅凭地表露头推测地下构造的困惑, 能更好地说明构造变形情况, 为

确定构造变形时间提供更多证据。本文利用野外调查结果、二维地震反射剖面、钻井和测井数据建立了一条横穿库车河地区的南北向构造剖面, 试图说明库车冲断褶皱带构造几何学和运动学特征, 同时作者利用一个方法区分亚肯背斜的变形岩层和构造生长地层, 参照库车河地区古近纪(老第三纪)—新近纪(新第三纪)—第四纪磁性地层柱(Yin et al., 1998)^②, 帮助判断构造生长地层的时代, 确定库车冲断褶皱带的构造变形时间。

1 区域地质概况

库车冲断褶皱带北邻天山, 南接塔里木盆地北部隆起, 西起阿克苏, 东至轮台, 近东西向延伸, 长300~400 km, 南北宽40~70 km。库车河地区位于库车冲断褶皱带的中段, 发育东西走向的褶皱和断层, 平面上由北向南分为北部褶皱带、克依构造带、秋立塔格背斜带和亚肯背斜带[图1, 范湘涛等(图版 I), 2000]。北部褶皱带位于天山山前, 发育断面

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49972077)的成果。

① Burchfiel B C, Brown E T, Deng Qidong, et al. 2000. Crustal shortening on the margins of the Tian Shan, Xinjiang, China (unpublished manuscript).

② 孟自芳. 1999. 新疆库车河地区新生代磁性地层. 塔里木石油股份公司研究报告(内部)。

收稿日期: 2001-01-05; 改回日期: 2001-05-14; 责任编辑: 任希飞。

作者简介: 汪新, 男, 1956年生。现为浙江大学地球科学系教授, 构造地质学专业。通讯地址: 310027, 浙江杭州玉古路20号, 浙江大学地球科学系。

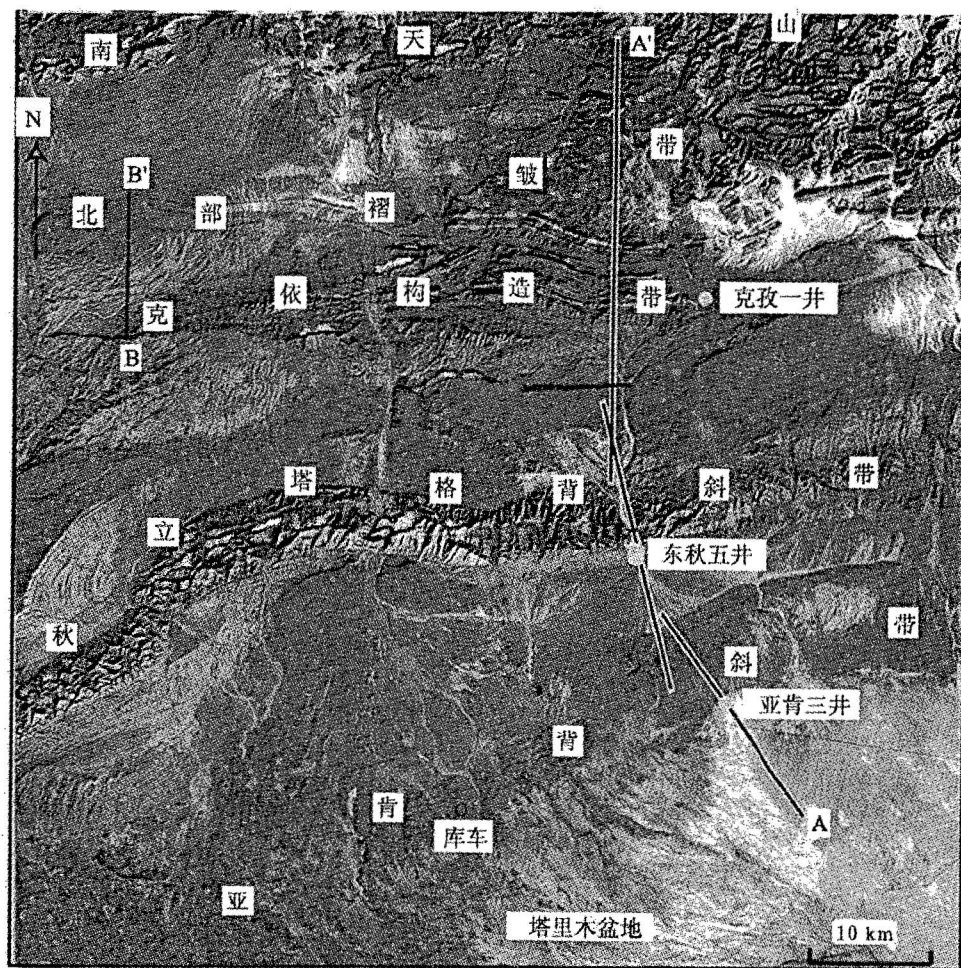


图 1 库车河地区卫星图片(文章引用的地震测线和钻井被标出)

Fig. 1 Landsat image of the Kuqa fold-and thrust belt (available well and cross-section along seismic reflection profile are located)

北倾的逆冲断层和高陡直立背斜,克依构造带由东西走向的线状背斜组成,秋立塔格背斜带位于克依构造带南侧,由东西走向的复合型背斜组成,亚肯背斜带位于秋立塔格背斜带南10 km处,由宽缓褶皱组成,属库车冲断褶皱带的前缘隆起带。库车河地区卷入褶皱的地层为中、新生界,厚度达7~8 km。中生界为湖泊—沼泽相沉积,包括砂岩、暗色泥岩和煤层。古近系为沼泽—泻湖相沉积,底部为砾岩,中上部为砂岩、泥岩,夹有膏泥岩,膏泥岩层为库车地区推覆构造的主要滑脱面。新近系—第四系为河流相沉积,主要是砂岩、砾岩,沉积物粒度由下而上变粗,下部为中—细粒砂砾岩,中部为中—粗粒砂砾岩,上部为砾岩。地表出露地层的时代由北向南逐渐变新,中生界位于天山山根处,古近系出露于山前带,新近系—第四系分布于更南地段(贾承造等,

1996;贾承造,1997;寿建峰等,2001)^①。

2 构造剖面分析

作者综合地表地质调查数据、二维地震反射剖面、钻井和测井资料,沿库车河东部建立了一条南北向构造剖面(A-A'剖面),该剖面南起塔里木盆地北部隆起北界,北至南天山山前,切过库车河地区的主要构造单元,虽然小尺度的断层和褶皱未能在剖面显示,但是该剖面反映了库车冲断褶皱带的主要构造性质(图2)。为了精确确定地层深度和断层的构造要素,我们选用迭加速度,利用Gocad软件完成了

① 钟端,夏维书,等. 1998. 库车前陆盆地露头区中新世地层构造沉积相及含油性调查研究报告(附1:10万库车前陆盆地地质图). 塔里木石油股份公司研究报告(内部).

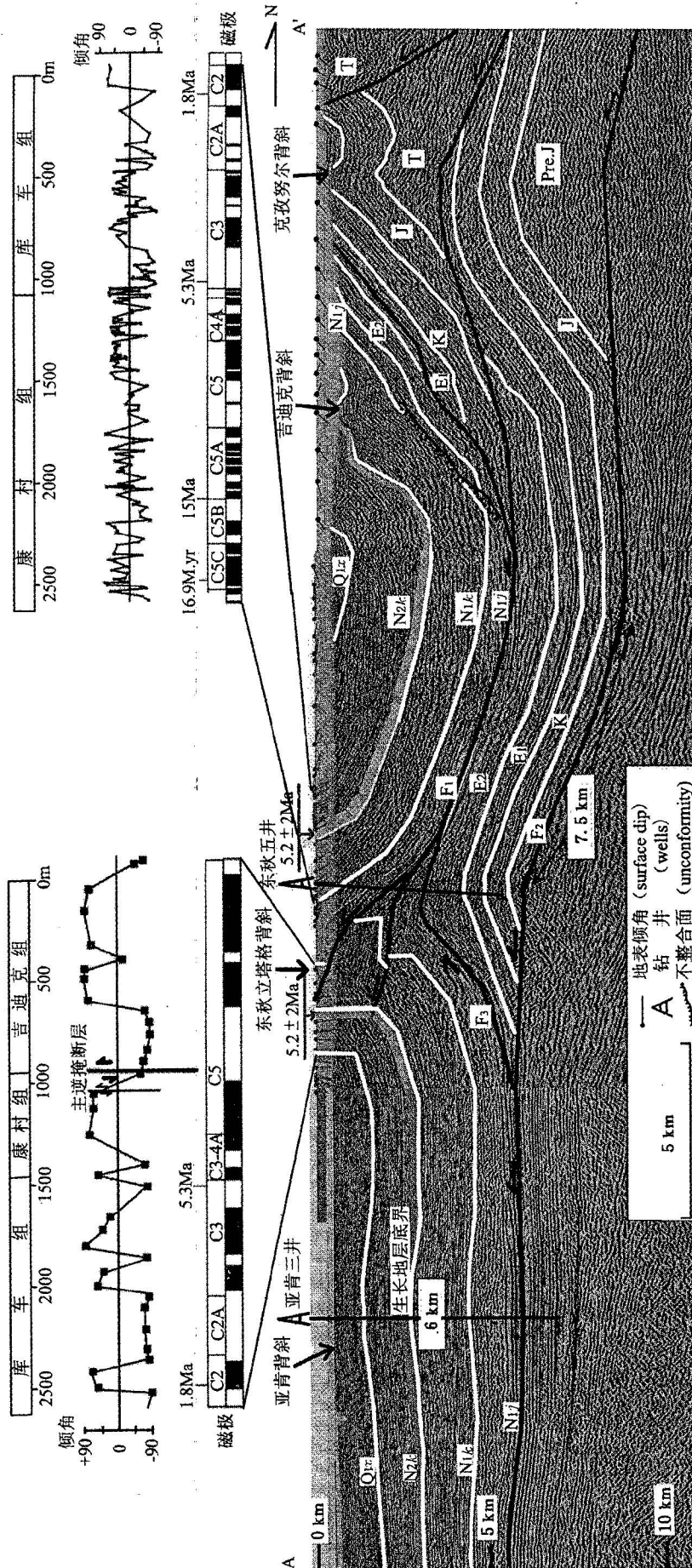


图 2 切过亚肯背斜、东秋立塔格背斜、吉迪克背斜和克孜努尔背斜的构造剖面
(图中标出库车河地区古近系—新近系(原第三系)—第四系磁性地层剖面位置)

Fig. 2 Cross-section across the Yaken anticline, the Qulitake anticline, the Jidike anticline and the Keznur anticline
(The magnetostratigraphy data of Paleogene-Neogene(Tertiary) and Quaternary are plotted)

Q_{1x}—更新统西域组; N_{2k}—上新统库车组; N_{1k}—中新统吉迪克组; E₂—下第三系苏维依组; E₁—下第三系库木列木组; K—白垩系; J—侏罗系
Q_{1x}—Pleistocene Xiyu Formation; N_{2k}—Pliocene Kuqa Formation; N_{1k}—Miocene Kuncun Formation; E₂—Miocene Jidike Formation; E₁—Paleogene Suweiyi Formation;
E₁—Paleogene Kumkum Formation; K—Cretaceous; J—Jurassic

二维地震测线的时深转换,将 A-A' 剖面的时间转换成深度,这项技术曾被应用于洛杉矶盆地的研究中 (Shaw et al., 1999)。作者详细测量了 A-A' 剖面沿线的地表地质要素,依据断层与褶皱的因果关系和对应的几何分布规律 (Suppe 1983; Suppe et al., 1990),分析和解释了剖面的构造几何形态,并对解释方案做了二维剖面平衡恢复。

A-A' 剖面位于库车县城东侧,剖面南端为亚肯背斜,向北依次为东秋立塔格背斜、吉迪克背斜和克孜努尔背斜 (图2)。地表出露地层的时代由北向南变新,侏罗系—白垩系位于天山山根处,古近系的库姆克列木组 and 苏维伊组出露于山前带,新近系的吉迪克组、康村组、库车组和第四系的西域组分布于更南地段,地表以下地层时代和厚度由亚肯三井,东秋五井和克孜一井控制。笔者首先讨论变形相对简单的亚肯背斜的构造特征,随后由南向北依次分析东秋立塔格背斜、吉迪克背斜和克孜努尔背斜的变形情况。

亚肯背斜长 80 km,宽 9~10 km,地表地貌为一 50~100 m 高的山丘。亚肯背斜位于一条断层之上,断层沿中新统吉迪克组下部的膏泥岩层发育,深度约为 5.2 km,断面近于水平,未切割地层,也不发育断层斜坡,因此,亚肯背斜是一个滑脱褶皱 (图2)。卷入亚肯背斜的地层为新近系吉迪克组、康村组、库车组和第四系的西域组,背斜两翼岩层宽缓对称,南翼南倾,北翼北倾,倾角都是 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。野外发现背斜上覆最新的沉积物和现代冲积阶地都已变形,河谷口冲积扇被褶皱,形成断层褶皱坎,表明亚肯背斜是一个正在活动的褶皱^①。

东秋立塔格背斜是深层的断层转折褶皱与浅层的断层传播褶皱迭加形成的复合型背斜。东秋立塔格浅层背斜为一个 8~10 km 宽的不对称背斜,背斜核部为中新统吉迪克组,两翼为中新统一上新统康村组和库车组,背斜南翼短而陡立,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 北翼长而缓倾,倾角 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,背斜顶部岩层近于水平,构成一个箱状背斜。箱状背斜下发育两条断层 (图2),一条在背斜南翼出露地表,另一条为隐伏断层,两条断层的断面均向北倾,这两条断层向北归并为一条断层 (F_1)。依据褶皱-断层的几何形态,作者认为东秋立塔格浅层背斜是一个断层传播褶皱。

东秋立塔格深层背斜为一个断层转折褶皱 (图2、3),该背斜下伏台阶状逆断层 (F_2) 的下断坪位于剖面北侧,深度约 9 km,沿侏罗系或者更老层位滑移,断层 (F_2) 的上断坪位于剖面南侧,深度约 6 km,

沿新近系吉迪克组膏泥岩层发育,上断坪和下断坪顺层滑移,未切割地层,两个断坪之间为北倾的断坡,断坡倾角 $15^{\circ}\sim 16^{\circ}$,断坡切割侏罗系、白垩系、古近系及新近系下部,再转平至新近系吉迪克组膏泥岩层向南滑移,地层的褶皱发生在断层 (F_2) 的上盘,下断坪上覆岩层近于水平,而断坡上覆岩层由水平变为倾斜,倾角和倾向与下伏断坡一致,在上断坪处岩层转为南倾,形成东秋立塔格深层背斜。

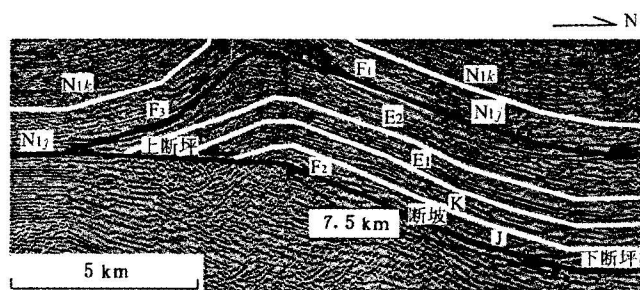


图3 东秋立塔格深部断层转折褶皱示意图

Fig. 3 Cross-section across the deep seated fault bend folding of Qiulitake anticline

依据断坡长度推算,东秋立塔格深层背斜下伏断层 (F_2) 的滑移量为 7.5 km (图2、3),断层 (F_2) 的大部分滑移量沿断层的上断坪向南传递,消减于南侧的亚肯背斜,小部分滑移量沿东秋立塔格深层背斜南翼的反冲断层 (F_3) 向北消减,将中新统吉迪克组的膏泥岩向北逆向推覆到背斜的顶部,形成楔状的膏泥岩丘 (图2),东秋五井在东秋立塔格深层背斜顶部钻遇 1000~1200 m 的膏泥岩层,是中新统吉迪克组膏泥岩层正常沉积厚度的 3~4 倍。由于亚肯背斜下伏滑脱断层是东秋立塔格深层台阶状断层 (F_2) 的南延部分,二者为同一条断层,因此东秋立塔格深层背斜与亚肯背斜基本上是同期形成的 (图2)。东秋立塔格背斜两翼第四系厚度和岩性变化很大,对比困难,说明褶皱变形影响到背斜两翼第四纪的沉积^①。作者在东秋立塔格背斜两翼发现了断层-褶皱坎,表明东秋立塔格背斜至今仍然在活动。

东秋立塔格背斜北部地区构造变形复杂,基底卷入式的逆冲断层在剖面北端将侏罗系和白垩系推覆到地表,形成浅层的吉迪克背斜和克孜努尔背斜 (图2)。吉迪克背斜和克孜努尔背斜为不对称的紧

① Burchfiel B C, Brown E T, Deng Qidong, et al. 2000. Crustal shortening on the margins of the Tian Shan, Xinjiang, China (unpublished manuscript).

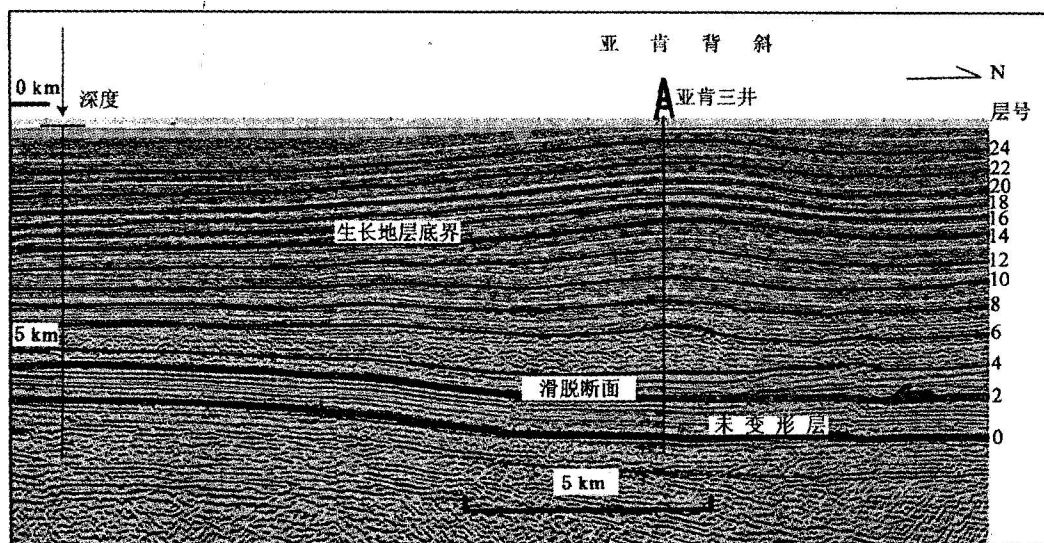


图 4 亚肯背斜地震测线解释及岩层划分图

Fig. 4 Yaken anticline with the interpreted seismic reflection profile

亚肯背斜是一个滑脱褶皱,滑脱断层位于背斜下伏6 km 深度,亚肯背斜被分为24个层位,1~13层是变形岩层,14~24层是构造生长地层

Yaken anticline which is a detachment fold results from slip on a detachment fault that is consumed by folding of the hanging-wall strata.

Twenty-four time-horizon layers have been traced across the anticline and used to determined the beginning of growth strata.

The 1~13 layers are pregrowth strata, the 14~24 layers are growth strata

闭褶皱,倾角高陡,倾向多变,背斜形态复杂,由于经

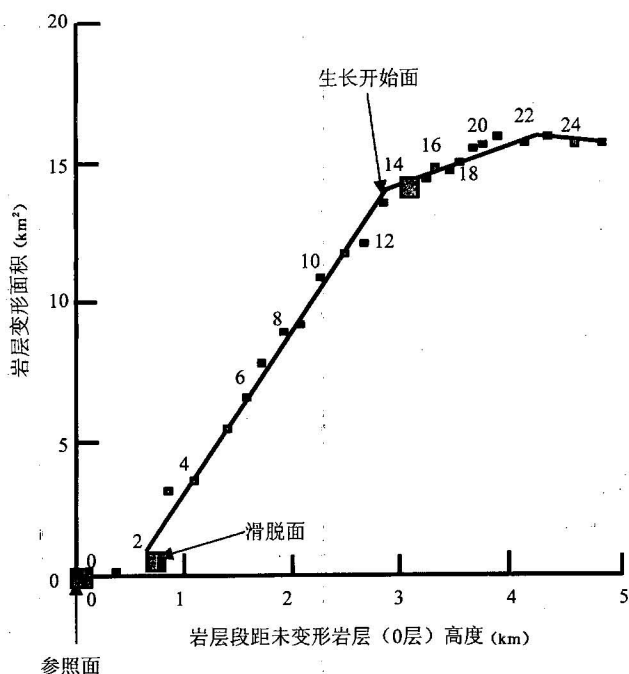


图 5 亚肯背斜岩层变形面积与岩层高度关系图

Fig. 5 Graph of the area of structural relief of each time horizon with respect to their depth to the reference level on the Yaken anticline

历了多次构造抬升,吉迪克背斜和克孜努尔背斜核部都已经出露地表。吉迪克背斜和克孜努尔背斜深层发育一个宽缓背斜,该背斜的南翼为古近系一中生界,核部可能为古生界(?),北翼地层时代不明,背斜下发育一条断层,断层的北段北倾,向北插入到天山山根下,断层向南转平,沿侏罗系向南转移,与南侧的东秋立塔格深层台阶状断层(F_2)相连(图2),因此库车北部地区的深层背斜与南部的东秋立塔格深层背斜和亚肯背斜很可能是同期形成的,因为这三个背斜下的断层为同一条断层。

3 变形时间讨论

亚肯背斜是一个滑脱褶皱。依据滑脱褶皱变形原理,岩层的褶皱幅度随层位发生变化,岩层的层位越高,它的褶皱幅度越大,也就是说滑脱褶皱上部岩层的褶皱幅度比下部岩层大。另外,构造变形期间滑脱褶皱的顶部沉积了一套地层,我们称为构造生长地层(Suppe et al., 1991),这套地层与下伏岩层呈整合接触,沉积物直接盖在下伏褶皱的顶部,地层的形态与下伏褶皱顶部岩层的形态差别不大,而且构造生长地层的褶皱幅度不再随层位的增高发生大的变化。作者利用这个规律总结了一个方法,用来区分亚肯背斜的变形前沉积岩层和变形期沉积的构造生长

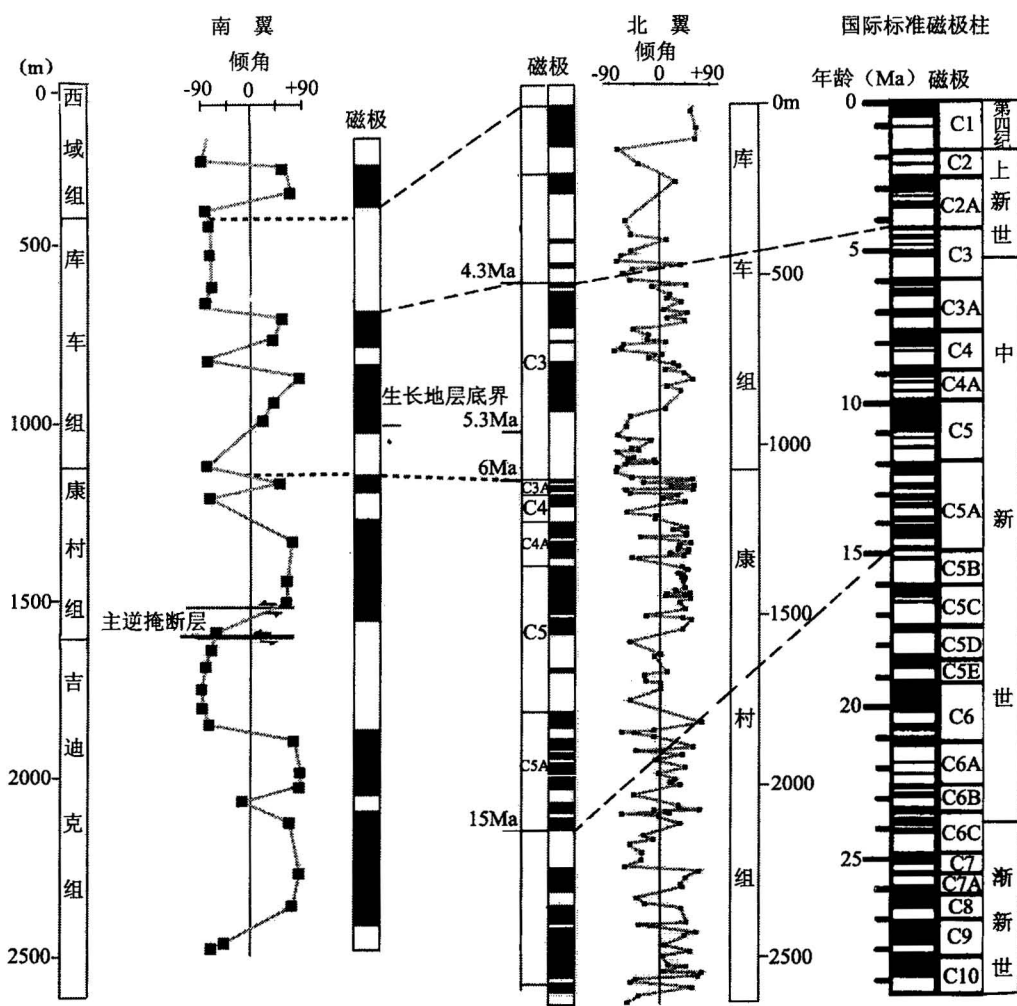


图 6 秋立塔克背斜两翼新近系磁极柱(引自孟自芳,1999;Yin 等,1998)

Fig. 6 Magnetic-polarity stratigraphy on the both sides of Qiulitake anticline along section A-A'

(from Meng, 1999; Yin et al. ,1998)

地层,帮助确定亚肯背斜构造生长地层的层位,判断亚肯背斜的变形时间。首先在过亚肯三井的二维地震剖面选定亚肯背斜下伏的滑脱断面,依据地震地层分层原理将滑脱面上覆地层划分为24个岩层段(图4),岩层段的数量依据研究要求来定,以满足区分构造生长地层与变形前沉积岩层为原则。假定24个岩层段的岩层面为等时界面,这24个岩层段代表了不同地质时代沉积的地层,1~24层距滑脱面的距离逐步增加,它们的沉积时代也逐步变新,由此,亚肯背斜被划分为24个时间段。作者选定滑脱面下伏未变形岩层为0层,将0层向上平行移动,当0层的两个端点与第3岩层段的两端重合时,0层与第3岩层段不能完全闭合,两条线围出一个面积,它表示了第3岩层段相对于未变形岩层(0层)发生的褶皱变形,称为第3岩层段的变形面积,依次类推得到3~24岩层

段的变形面积,同时确定3~24岩层段距未变形岩层(0层)的距离。作者利用上述数据绘制了岩层变形面积与岩层高度关系图(图5),图的纵座标为岩层的变形面积,横座标为岩层距未变形岩层(0层)的距离。结果显示1~24层距滑脱面的距离逐步增加,岩层的变形面积与岩层高度呈线性正相关,第3层距滑脱面(第2层)最近,变形面积最小,第13层距滑脱面较远,变形面积最大,14~24层的变形面积不再随层位高度的增加发生大的变化,基本上与第14层相同。作者判断1~13层是变形前沉积的地层,岩层变形面积由下而上呈线性增加,符合滑脱褶皱的变形情况。14~24层是构造同期沉积的,属构造生长地层,岩层变形面积不再随层位增高发生大的变化,岩层的几何形态与下伏褶皱顶部岩层(第13层)基本一致,由此推测第14层沉积时亚肯背斜正在形成。作者认为

亚肯背斜1~13岩层段是变形前沉积的地层,14~24岩层段是变形同期沉积的构造生长地层,曲线斜率发生变化的拐点部位就是构造生长地层的底界(图5),因此,第14层的沉积时代应该为亚肯背斜的变形时代。

亚肯三井资料证实第14层位于上新统库车组底部(图2、4)。为了确定第14层的时代,笔者参考了库车河地区新生代磁性地层柱(Yin et al., 1998)^①。幸运的是库车河地区新近系—第四系磁性地层剖面正好与作者建立的A-A'构造剖面重合,孟自芳^②测量的中新统康村组—上新统库车组磁性地层剖面位于东秋立塔格背斜北翼,Yin等(1998)测量的中新统吉迪克组、康村组和上新统库车组磁性地层剖面位于东秋立塔格背斜南翼,南翼剖面被断层切过,部分地层缺失,剖面不连续,磁性地层柱的可信度低。北翼剖面地层出露完整,采集的磁性地层样品较为密集,剖面的磁极分辨率比南翼剖面高,磁性地层柱的可信度高(图6)。地层古生物资料证实库车地区膏泥岩的发育时代为古近纪,中新世以来库车地区的沉积环境由湖泊—沼泽相转为河流相,新近系为陆源碎屑沉积,不含膏泥岩(Ye et al., 1990; Yin et al., 1998)。库车地区的吉迪克组位于古近纪苏维伊组之上,其下段夹有膏泥岩,上段为陆源碎屑岩,吉迪克组的上段通常被归于中新统^③。秋立塔格背斜核部和两翼出露的吉迪克组、康村组和库车组为一套陆相砂泥岩,未发现有膏泥岩层,古生物组合可与邻区的中新统一上新统对比,因此,作者把中新世定为秋立塔格磁性地层柱的时代下限。

由于北翼剖面品质较好,作者将该剖面与美国地质学会(1999)公布的国际标准地质磁极柱对比(图6),发现北翼康村组和库车组的极性与国际磁极柱的C3—C5A极性段相似,C5A为正反向交替;C5下段以反向为主间夹正向,上段以正向为主间夹反向;C4下段为反向,上段为正向;C3A为正反向交替;C3下段为反向,上段为正反向交替,由此判断这一段地层的时代可能为4.3~15 Ma。库车组的底界位于C3极性段底部,时代可能为 6.0 ± 0.2 Ma,因此库车组的时代被归于上新世,这个认识与古生物资料^①和孟自芳^②的研究结果一致。南翼剖面被断层分为两段,上半段为库车组和康村组上段,下半段为吉迪克组,康村组与吉迪克组断层接触,中间缺失部分地层(图2、6)。南翼剖面的标志极性带不明显,库车组下段可以与国际磁极柱的C3极性段对比,时代定为4.3~6.0 Ma,康村组和吉迪克组受断层影响,地

层出露不连续,与国际磁极柱对比困难,无法确定它们的极性段位置,也很难判断它们的年代。需要指出Yin等(1998)依据岩性组合特征将秋立塔格背斜南翼地层归于新近系,认为是晚中新世以后沉积的,但是又根据磁性地层资料将它们归于渐新世—早中新世,推论本身前后矛盾,结论与实际地质资料不符^④,值得商榷。依据上述分析,作者认为秋立塔格背斜两翼的库车组属上新世,库车组的底界年龄为 6.0 ± 0.2 Ma,作为亚肯背斜构造生长地层底界的第14层位于库车组下部,它的时代可能为 5.2 ± 0.2 Ma(图6),由此确定亚肯背斜和秋立塔格背斜形成于上新世早期。

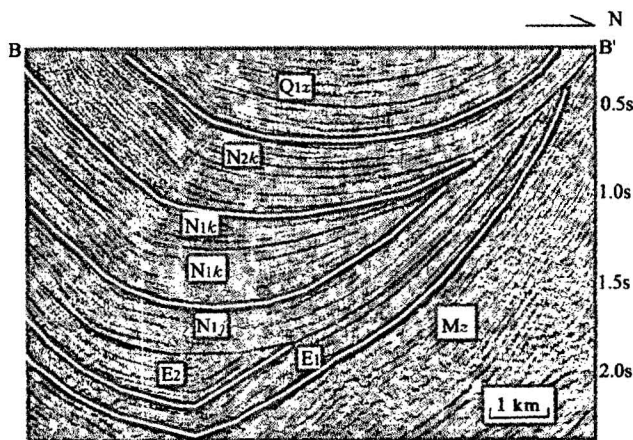


图7 库车北部山前带巴什基奇克背斜北侧B-B'剖面渐新世和中新世角度不整合(图中粗黑线所示)

Fig. 7 Two unconformities related to the early phases of deformation in the north area of Kuqa fold and thrust belt

库车北部山前带的变形时间可以追索到渐新世。B-B'剖面切过北部褶皱带巴什基奇克背斜北侧的向斜,显示出两个角度不整合,中新统吉迪克组角度不整合在古近系之上,另一个不整合位于中新统康村组内部(图7),这两个不整合局限于北部地带,向南减灭,表明库车的早期变形可能仅发生在北部山前带。由于这两个不整合面都已发生褶皱,而且造成不整合面褶皱的深部断层与南侧东秋立塔格背斜和亚肯背斜下伏断层(F₂)为同一条断层(图2),断层

① 钟瑞,夏维书,等. 1998. 库车前陆盆地露头区中新世地层构造沉积相及含油性调查研究报告(附1:10万库车前陆盆地地质图). 塔里木石油股份公司研究报告(内部).
② 孟自芳. 1999. 新疆库车河地区新生代磁性地层. 塔里木石油股份公司研究报告(内部).

(F_2)活动时间定为上新世(详见前述),因此库车北部山前带可能至少经历了渐新世、中新世和上新世三期变形。由于晚期(上新世)变形强烈,它改造了早期断层和褶皱,渐新世、中新世变形仅留下残余构造形迹和不整合面,这种构造迭加的现象在北部褶皱带以南地区很少出现,推测渐新世、中新世的变形尚未影响到南部地区,而南部的秋立塔格背斜和亚肯背斜应该是上新世开始褶皱的,这期变形作用可能持续至今,正如 Brown (1998)等研究发现库车地区第四纪的变形活动相当强烈。

4 结论

(1) 研究证实南天山库车冲断褶皱带由北向南推覆,东西走向的逆冲断层和断层相关褶皱与天山山脉平行,表明库车冲断褶皱带的构造活动以南北向挤压为主。

(2) 库车冲断褶皱带构造时代自北向南逐渐变新,北部的变形时间可以追索到渐新世和中新世,南部的秋立塔格背斜和亚肯背斜形成于上新世(5.2 ± 0.2 Ma),北部地区至少经历了渐新世、中新世和上新世三期变形,早期的渐新世、中新世构造活动限于秋立塔格背斜以北地区,上新世构造向南扩展,不但形成秋立塔格背斜和亚肯背斜,而且改造了北部山前带渐新世、中新世形成的断层和褶皱,上新世的构造变形可能持续至今,秋立塔格背斜和亚肯背斜仍然在活动。

(3) 依据构造运动学分析,东秋立塔格背斜下伏断层(F_2)的滑移量为7.5 km,如果断层(F_2)变形始于上新世(5.2 ± 0.2 Ma),由此推算东秋立塔格背斜的缩短速率为1.5 mm/a,它是否代表了库车冲断褶皱带上新世以来的缩短速率有待研究证实。

本文是与美国普林斯顿大学合作研究南天山前陆褶皱带的部分成果。南京大学卢华复教授给予本文热情鼓励和支持,塔里木石油股份公司王招明、李启明、皮学军、谢会文、雷刚林、刘云祥、齐英敏提供了许多帮助,在此表示真诚感谢!

参 考 文 献

- 陈楚铭,卢华复,贾东,贾承造. 1999. 塔里木盆地北缘库车再生前陆褶皱逆冲带中丘里塔格前缘带的构造与油气. 地质论评, 45(4): 423~433.
- 范湘涛,卢华复,郭华东,邵芸. 2000. 库车冲断带新构造遥感分析. 地质论评, 46(5): 499~506.
- 贾承造. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1~438.
- 贾承造,魏国齐. 1996. 塔里木盆地的古生界古隆起和中、新生界前陆逆冲带构造及其控油意义. 见: 童晓光,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, 225~234.
- 卢华复,贾东,陈楚铭,刘志宏,王国强,贾承造. 1999. 库车新生代构造性质和变形时间. 地学前缘, 6(4): 215~221.
- 寿建峰,斯春松,朱国华,王少依,皮学军,李启明. 2001. 塔里木盆地库车坳陷下侏罗统砂岩储层性质的控制因素. 地质论评, 47(3): 272~277.
- ### References
- Brown E T, Boarles D C, Barchfield B C, et al. 1998. Estimation of slip rates in the southern Tian Shan using cosmic ray exposure dates of abandoned alluvial fans. Geol. Soc. Amer. Bull., 110, 377~386.
- Chen Chuming, Lu Huafu, Jia Dong, Jia Chengzao. 1999. Structures and petroleum accumulation in the Qiulitag thrust front of the Kuche Rejuvenated foreland fold-thrust belt on the northoern margin of the Tarim basin. Geological Review, 45(4): 421~433.
- Fan Xiangtao, Lu Huafu, Gao Huadong, Shao Yun. 2000. Neotectonic analysis of the Kuche foreland thrust belt by using remote sensing data. Geological Review, 46(5): 499~506.
- Jia Chengzao. 1997. The structural feature and its relations to hydrocarbon on the Tarim Basin, China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~438 (in Chinese).
- Jia Chengzao, Wei Guoqi. 1996. Paleozoic paleouplifts, Meso-Cenozoic foreland thrusttectonics and their significance in controlling hydrocarbon occurrence of Tarim Basin. In: Tong Xiaoguang, Liang Digang, Jia Chengzao, ed. The research progress of petroleum geology on the Tarim Basin. Beijing: Sci. Press, 225~234 (in Chinese).
- Lu Huafu, Jia Dong, Chen Chuming, Liu Zhihong, Wang Guoqiang, Jia Chengzao. 1999. Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structures. Earth Sciences Forward, 6(4): 215~221 (in Chinese with English abstract).
- Shaw J H, Shearer P M. 1999. An elusive blind thrust fault beneath metropolitan Los Angeles. Science, 283: 1516~1518.
- Suppe J. 1983. Geometry and kinematics of fault bend folding. Amer. J. Sci., 283: 684~721.
- Suppe J, Medwedeff D A. 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. Eclog. Geol. Helv., 83: 409~454.
- Suppe J, Chou G T, Hook S P. 1991. Rates of folding and faulting determined from growthstrata. In: McClay K R, ed. Thrust Tectonics. London: Chapman and Hall, 105~121.
- Ye C H, Huang R J. 1990. Tertiary stratigraphy of the Tarim Basin. In Zhou Z, Chen P, ed. Stratigraphy of the Tarim Basin. Beijing: Sci. Press, 308~363.
- Yin A, Nie S, Craig P, et al. 1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan. Tectonics, 17: 1~27.
- Shou Jianfeng, Si Chunsong, Zhu Guohua, Wang Shaoyi, Pi Xuejun, Li Qiming. 2001. Control factors of the properties of the lower Jurassic Sandstone reservoirs in the Kuche Depression, Tarim basin. Geological Review, 47(3): 272~277.

The Time of Deformation on the Kuqa Fold-and-Thrust Belt in the Southern Tianshan-Based on the Kuqa River Area

WANG Xin¹⁾, JIA Chengzao²⁾, YANG Shufeng¹⁾, Aurelia Hubert-Ferrari³⁾, John Suppe³⁾

1) *Geosciences Department of Zhejiang University, Hangzhou, 310027*

2) *Chinese Petroleum and Natural Gas Limited-Liability Company, Beijing, 100083*

3) *Geosciences Department of Princeton University, NJ 08544, USA*

Abstract

The Tianshan is one of the largest and the most active intracontinental mountain ranges in the world. Active fold-and-thrust belts flank both sides of the mountain. This paper based on the data of seismic reflection profiles, wells, remote sensing, detailed surface structural survey and magnetostratigraphy focuses on the Kuqa thrust system in the central part of the southern Tianshan. In the Kuqa River area, the 60 km wide fold-and-thrust belt is characterized by four east-west-trending folds. Near the mountain front, the Northern fold and the Keyi fold involve Mesozoic and Eogene strata and make two unconformities between the Meocene Jidike Formation and the Eogene Suweiyi Formation and in the Meocene Kangcun Formation. The unconformities imply that the beginning of deformation in the Kuqa thrust system is around Oligocene. Toward the Tarim basin, the more recent Miocene to Pleistocene sediment is folded along the Quilitake anticline. Further south, the Yaken anticline is involving the Holocene surface that is folded. The growth strata over the Yaken anticline and the Quilitake anticline are in the lower part of the Pliocene Kuqa Formation. Combining with the magnetostratigraphic sections on the both sides of the Quilitake anticline we suggest that the timing of deformation on the Yaken anticline and the Quilitake anticline is the early Pliocene (5.5 ± 0.2 Ma), and an average slip rate of 1.5 mm/a since Pliocene is estimated on the Quilitake anticline.

Key words: fold-and-thrust belt; the timing of deformation; growth strata; Pliocene; Kuqa river area; Xinjiang

~~~~~