

doi:10.3799/dqkx.2016.089

# 库车坳陷东部断裂特征与构造演化

魏红兴<sup>1</sup>, 黄梧桓<sup>2\*</sup>, 罗海宁<sup>1</sup>, 黎立<sup>1</sup>, 史玲玲<sup>1</sup>, 王佐涛<sup>1</sup>

1. 中石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库车 841000

2. 浙江大学地球科学学院, 浙江杭州 310027

**摘要:** 山前逆冲褶皱带的几何学和运动学研究属于构造地质学前沿课题,也是全球山前盆地油气勘探开发所关注的问题。综合二维地震剖面、钻测井数据、地质填图资料,建立了库车坳陷东部两类断层几何学和运动学模型,绘制了吐孜洛克断层和东秋里塔格断层断距分布图以及东秋里塔格背斜位移缩短量分布图。研究资料表明库车坳陷东部发育两种类型断层,古近纪发育高角度逆冲断层,造成山前基底抬升,白垩系—古近系被剥蚀;上新世发育低角度逆冲断层,引发库车坳陷中生界—新生界变形,形成盆地腹部隐伏的叠瓦状逆冲构造。

**关键词:** 库车坳陷;隆起;断层转折褶皱;高角度基底卷入断层;低角度逆冲断层;石油地质。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2016)06-1074-07

收稿日期: 2015-08-16

## Faults Characteristics and Evolution in the Eastern Kuqa Depression

Wei Hongxing<sup>1</sup>, Huang Wuhuan<sup>2\*</sup>, Luo Haining<sup>1</sup>, Li Li<sup>1</sup>, Shi Lingling<sup>1</sup>, Wang Zuotao<sup>1</sup>

1. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China

2. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

**Abstract:** Geometry and kinematics analysis of thrust-related fold system in piedmont is a frontier subject of structure and tectonics. These concepts and technical methods are relevant for the exploration and exploitation of hydrocarbon systems in piedmont basins worldwide. The geometry and kinematics models of the faults and folds are established by using the 2D seismic profiles, drilling well logging data, and geological mapping data in the eastern Kuqa depression in the piedmont of Tianshan Mountains, China. The fault throw maps of the Tuziluke fault and the eastern Qiluitag and the shorting map of the eastern Qiluitag anticline have been drew. The results reveal that there are two types of fault in the eastern Kuqa depression, i. e. the steeply basement-involved faults and the low dipping thrust faults. In Tertiary, the steeply faults made the basement uplift and the Meso-Cenozoic sequence erosion in the piedmont of Tianshan. The low dipping faults develop in Pliocene, which was detachment in the lower of Mesozoic and formed the blind imbricate thrust-related fold system in the Kuqa basin.

**Key words:** Kuqa depression; uplift; fault-bend fold; steeply basement-involved fault; low dipping thrust fault; petroleum geology.

## 0 引言

天山横亘中亚内陆,是印度板块和欧亚板块碰撞形成的陆内巨型造山链(Molnar and Tapponnier, 1975; Hendrix *et al.*, 1994; Allen *et al.*, 1991; Yin *et al.*, 1998)。天山山前盆地油气资源丰富,库车坳陷探明油气储量约  $2 \times 10^{10}$  t,是我国重要

的油气勘探开发区。研究库车坳陷构造特征和变形机制,对于厘定天山新生代构造变形规律,深化库车坳陷油气勘探具有重要意义(贾承造, 1997, 1999; 陈楚铭和贾承造, 1999; 卢华复等, 1999, 2000, 2001; 汪新等, 2002; 管树巍等, 2003; 王招明和肖中尧, 2005; 汤良杰, 2007; 李世琴等, 2009; 谢会文等, 2013; 王招明, 2014; 李峰等, 2015)。

**基金项目:** 国家科技重大专项项目(No. 2011ZX05003-004)。

**作者简介:** 魏红兴(1979—),男,工程师,硕士,主要从事油气勘探开发研究。Email: weihx-tlm@petrochina.com.cn

\* **通讯作者:** 黄梧桓, E-mail: hwh0026@126.com

**引用格式:** 魏红兴, 黄梧桓, 黎立, 等, 2016. 库车坳陷东部断裂特征与构造演化. 地球科学, 41(6): 1074-1080.

本文应用断裂相关褶皱理论和技术方法,综合二维地震剖面、钻测井数据以及地质填图资料,建立了库车坳陷东部吐孜洛克断层、东秋里塔格断层几何学和运动学模型,绘制了吐孜洛克断层中生界—新生界断距分布图、东秋里塔格断层位移量和褶皱缩短量分布图。

## 1 库车坳陷断裂特征

库车坳陷位于天山南麓,西起温宿,东至库尔楚,长为 470 km,南北宽为 40~90 km,总面积为 25 000 km<sup>2</sup>,发育 4 排冲断褶皱带:北部单斜带、克拉苏—依奇克里克构造带、秋里塔格背斜带以及喀拉玉儿滚—亚肯背斜带。库车坳陷东部发育两类断层:高角度逆冲断层和低角度逆冲断层。前者位于天山山前,发育基底卷入构造和高陡褶皱;后者引发库车坳陷中生界—新生界变形,发育隐伏的叠瓦状逆冲断层和褶皱(图 1,表 1)。本文以库车坳陷东部

吐孜洛克断层和东秋里塔格断层为例,揭示两类断层特征和变形机制,厘定其变形时代和演化过程。

### 1.1 吐孜洛克断层

吐孜洛克断层位于库车坳陷东部,东—西走向,断层长度约为 100 km,断层面北倾,倾角为 50°~60°,断层具有下列特征(图 2)。

(1)吐孜洛克断层是基底卷入型断层(Narr and Suppe, 1994),断层切割元古界变质基底和中生界地层。断层上盘中生界被剥蚀,被新近系不整合覆盖。新近系发生弯曲变形,形成断层上盘前翼高陡的背斜。

(2)断层面高陡,断层下盘地层未变形。

(3)断层上盘发育两期构造不整合:侏罗系/元古界不整合、中新统/侏罗系不整合。前者属于区域不整合,与古生代变形有关。后者发生在中新统沉积前,分布范围与吐孜洛克断层密切相关,属于断裂活动所造成的局部不整合。吐孜洛克断层前端沉积第四系生长地层(图 2a),表明断层再次活动。由此笔者推断吐孜洛克断层至少发生两期活动。

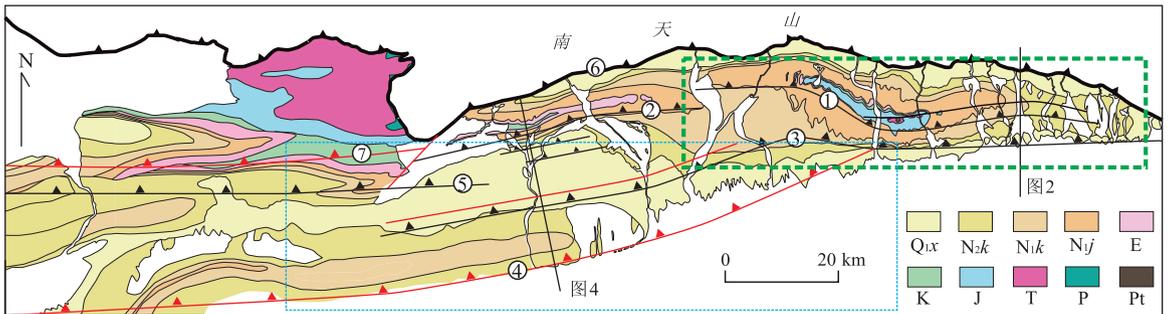


图 1 库车坳陷东部盆地断裂地质图

Fig. 1 Geological sketch with structural belts of the eastern Kuqa thrust fold belt

Pt.元古界;P.二叠系;T.三叠系;J.侏罗系;K.白垩系;E.古近系;N<sub>j</sub>.下中新统;N<sub>k</sub>.上中新统;N<sub>zk</sub>.上新统;Q<sub>ix</sub>.第四系西域组;①吐格尔明断层;②依奇克里克断层;③吐孜洛克断层;④东秋里塔格断层;⑤迪北断层;⑥南天山山前断层;⑦巴什基奇克断层;绿色虚线为吐孜洛克断层测量区域;蓝色虚线为东秋里塔格断层测量区域;断裂特征见表1

表 1 库车坳陷东部断裂分类

Table 1 The classification of faults in the eastern Kuqa

编号	名称	断层类型	形成时代	发育区域	变形特征
1	吐格尔明断层	高角度逆冲断层	上新世	吐格尔明构造带	上新世发育
2	依奇克里克断层	高角度逆冲断层	早中新世	天山山前	发育高陡背斜
3	吐孜洛克断层	高角度逆冲断层	早中新世	库车坳陷	基底卷入型断裂,元古界-古生界基底抬升,白垩系-古近系剥蚀。
4	东秋里塔格断层	低角度逆冲推覆断层	上新世	库车坳陷	中生界-新生界逆冲褶皱,形成挤压构造楔。
5	迪北断层	高角度逆冲断层	早中新世	库车坳陷	盆地基底断层
6	南天山山前断层	高角度逆冲断层	早中新世	天山山前	盆山边界断层
7	巴什基奇克断层	低角度逆冲推覆断层	上新世	天山山前	山前浅层中生界-新生界逆冲褶皱

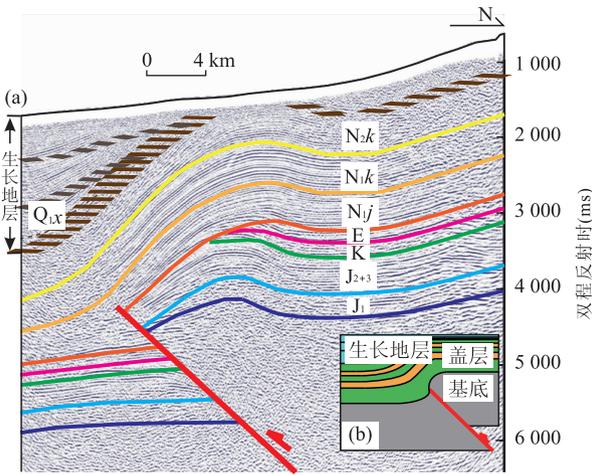


图 2 吐孜洛克断层二维地震解释剖面(a)和断层运动学模型(b)

Fig. 2 Interpreted 2-D seismic section (a) and kinematic model (b) of Tuziluke fault

J. 侏罗系; K. 白垩系; E. 古近系; N<sub>1j</sub>. 下中新统; N<sub>1k</sub>. 上中新统; N<sub>2k</sub>. 上新统; Q<sub>1x</sub>. 第四系; 剖面 a 位置见图 2; 图 b 据 Narr and Suppe(1994)

吐孜洛克断层上盘地层以中新统吉迪克组不整合面为界,分为两个构造层,上覆新近系构造层和下伏古近系一中生界构造层. 设定侏罗系断距为总断距,中新统吉迪克组断距为晚期断距(中新统沉积后的断层断距),二者之差就是早期断距(中新统沉积前的断层断距). 通过测量 15 条穿过吐孜洛克断层的二维地震剖面,笔者绘制了吐孜洛克断层早期断距、晚期断距以及总断距 3 条曲线(图 3).

吐孜洛克断层早期断距东大西小,最大断距为 1.2 km,位于测线 334 位置;断层西端点断距为零,位于测线 264 位置(图 3 绿色曲线). 晚期断距中部大两边小,两边断距为 0.5~0.7 km,中间断距为 1.5 km(图 3 红色曲线). 断层晚期活动越过测线 264 位置,向西延伸. 断层总断距=早期断距+晚期断距,总断距东大西小,最大断距位于中部(2.3 km),位于测线 323 位置. 吐孜洛克断层中段出露元古界、中生界,与断层断距最大部位重合,这

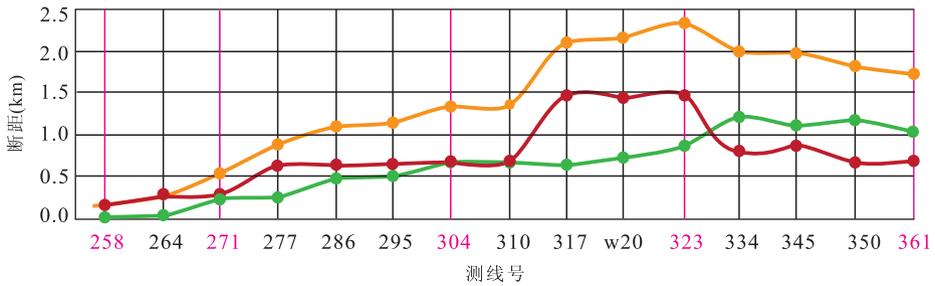


图 3 吐孜洛克断层断距分布

Fig. 3 Fault throw sketch of the Tuziluke fault

测线区域图1绿色虚线标出;绿色曲线为早期断距;红色曲线为晚期断距;黄色曲线为总断距

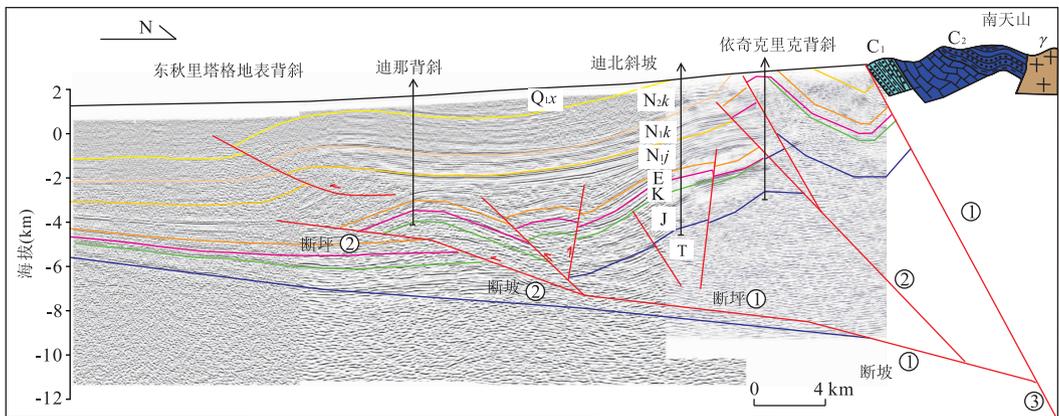


图 4 东秋里塔格断层二维地震解释剖面

Fig. 4 Interpreted 2D seismic section of the eastern Qiulitag fault

C<sub>1</sub>. 早石炭系; C<sub>2</sub>. 早石炭系; γ. 岩浆岩体; T. 三叠系; J. 侏罗系; K. 白垩系; E. 古近系; N<sub>1j</sub>. 下中新统; N<sub>1k</sub>. 上中新统; N<sub>2k</sub>. 上新统; Q<sub>1x</sub>. 第四系. ①南天山山前断层; ②依奇克里克断层; ③东秋里塔格断层. 剖面位置见图 1

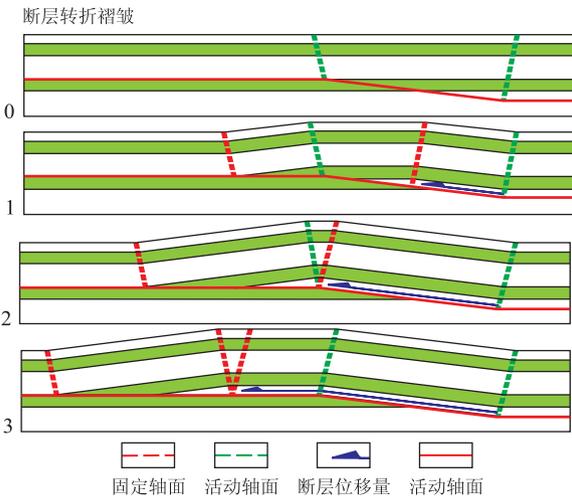


图 5 台阶状逆冲断层运动学模型

Fig. 5 Kinematic model of a composite fault-bend fold  
据 Suppe(1983)

是两期活动合力的结果(图 3 黄色曲线)。

### 1.2 东秋里塔格断层

东秋里塔格断层东—西走向,长度为 160 km,断层面北倾,是一条低角度台阶状逆冲断层,发育两个断坡—断坪组合(图 4)。断层源于天山山根,断坡①切过古生界,随后变缓为断坪①,沿中生界底部向南滑移,断坪倾角为 3°,构成第一个断坡—断坪组合。断层上盘是依奇克里克背斜、迪北斜坡。第二个断坡—断坪组合位于迪那背斜、东秋里塔格地表背斜下伏,断坡②切过中生界,断坡倾角为 20°,随后变缓为断坪②,断坪倾角为 4°。东秋里塔格断层前端沿中新统吉迪克组膏盐层向南滑移,膏盐岩上覆发育地表背斜。由于东秋里塔格断层切割高陡断层,东秋里塔格断层活动时间晚于高陡断层(图 4)。

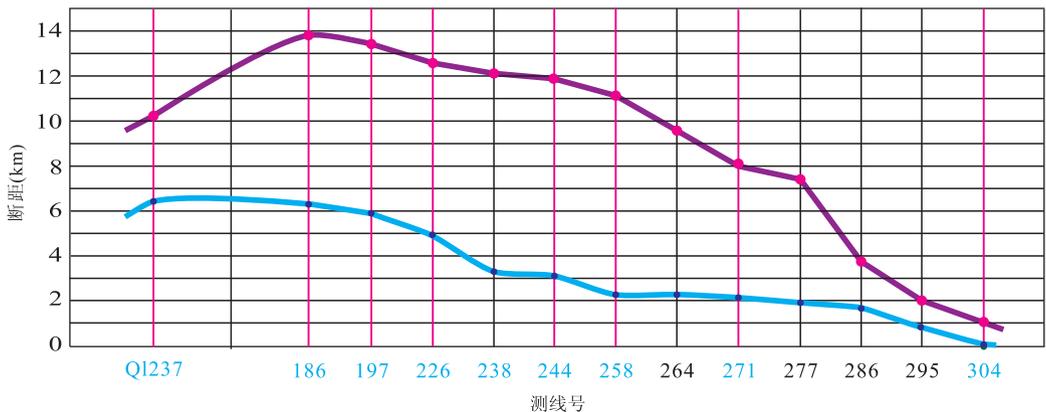


图 6 东秋里塔格断层和迪那背斜断距分布

Fig. 6 Fault throw sketch of the eastern Qiulitag fault and Dina anticline

测线区域图 1 蓝色虚线标出;紫色曲线为东秋里塔格断层位移量;蓝色曲线为迪那背斜缩短量

台阶状逆冲断层上盘褶皱以膝折带迁移方式运动,基于断层褶皱之间的几何学定量关系,断层位移量与褶皱宽度存在对应关系(Suppe, 1983)(图 5)。

(1)断层初始阶段,活动轴面(绿色虚线)固定于台阶状断层断坡—断坪转折点(图 5a)。

(2)断层开始活动,产生两条固定轴面(红色虚线),它们平行于活动轴面(绿色虚线),形成两个膝折带(每条绿色虚线与前端红色虚线构成一个膝折带),膝折带宽度分别等于台阶状断层断坡和前端断坪位移量,也分别等同于背斜后翼和前翼宽度。由于背斜吸收断层部分位移量,背斜后翼宽度要大于背斜前翼宽度(图 5b)。

(3)伴随断层位移量增大,背斜前后翼加宽,当台阶状断层断坡到达前端断坪位置,背斜后翼宽度为最大值,此时背斜达到最大高度(图 5c)。

(4)当断层位移量继续增加,背斜平顶变宽,背斜后翼宽度保持不变,断层最大位移量等于断坡宽度加上平顶加宽部分,断层最小位移量等于前端断坪位移量加上平顶加宽部分(图 5d)。

依据台阶状逆冲断层运动学模型,断层断坡宽度(褶皱后翼宽度)等于断层位移量,褶皱前翼宽度小于断层位移量(部分断层位移量转化为褶皱隆起势能)。依据断层模型(图 5)东秋里塔格断层第一个断坡—断坪位移量大于迪北斜坡宽度(11~12 km),第二个断坡宽度(6~7 km)等于第二个断坡—断坪位移量。断层后段(第一个断坡—断坪)位移量大于断层前段(第二个断坡—断坪位移量),断层后段与前段位移量之差(11 km-6 km=5 km)被上覆的依奇克里克背斜、迪北斜坡吸收。迪那背斜前翼宽度约为 4 km,背斜下伏断层断坡宽度为 6~

7 km,二者之差为2~3 km,这部分位移量被迪那背斜吸收.东秋里塔格断层前端有约4 km位移量(等于迪那背斜前翼宽度),这部分位移量被盐丘和东秋里塔格地表背斜吸收(图4).

通过测量13条穿过东秋里塔格断层的二维地震剖面,笔者绘制了东秋里塔格断层和迪那背斜位移缩短量2条曲线(图6).东秋里塔格断层位移量由东向西逐渐增大,位移量从1 km增加到14 km(图6紫色曲线).迪那背斜缩短量由东向西逐渐增大,缩短量从1 km增加到6 km(图6蓝色曲线).二者增幅趋势相同,属于同源同期构造.由于东秋里塔格断层上覆新近系变形,背斜前翼沉积上新统生长地层,笔者推测东秋里塔格断层活动始于上新世.

综上所述,东秋里塔格断层源于天山山前,切过古生界,沿中生界底部向南滑移,断层上盘中生界—新生界发育逆冲推覆构造,形成迪北斜坡、迪那背斜和地表背斜3排褶皱.东秋里塔格断层切割早期发育的高角度逆冲断层,断层活动始于上新世.

## 2 讨论

通过对断裂特征分析—变形量计算—变形时代厘定,笔者梳理了库车坳陷东部两类断裂特征.高角度逆冲断层位于天山山前,发育基底卷入构造和高陡褶皱;低角度逆冲断层隐伏于盆地,引发库车坳陷中生界—新生界变形,发育叠瓦状逆冲断层和褶皱.

上新世是库车坳陷构造转化期,在此之前天山山前发育高陡断层,造成基底抬升和盖层变形,之后库车坳陷发育低角度逆冲断层,中生界—新生界发生逆冲推覆,发育叠瓦状逆冲断层和褶皱.库车坳陷东部发育两期不整合:三叠系/元古界不整合以及中新统/侏罗系不整合,前者属于区域不整合,后者分布范围受限于断层上盘,属于局部构造不整合.上新世以来,库车坳陷发生逆冲推覆构造,沉积了上新统一全新统生长地层.笔者依据构造不整合和生长地层资料推断,库车坳陷至少发育两期断裂,断裂活动演化剖面展示如下(图7).

(1)阶段1:古近纪高陡断层发育期.古生界天山隆升后期,山脉剥蚀夷平,中生界不整合覆盖元古界—古生界.古近纪库车坳陷发育高陡断层,断层上盘侏罗系、白垩系遭受剥蚀,中新统不整合覆盖下伏地层(图7a).

(2)阶段2:中新世盆地沉降期.早期库车坳陷沉降,沉积千米厚的陆相碎屑岩.晚期天山隆升,山前发育高陡断裂(图7b).

(3)阶段3:上新世推覆构造期.上新世库车坳陷发育低角度逆冲推覆断层,断层源于山前,切过古生界和早期发育的高陡断层,沿中生界底部向南滑移,断层上盘中生界—新生界发育逆冲推覆构造,形成迪北斜坡、迪那背斜和地表背斜3排褶皱(图7c).

天山新生代隆升始于中新世(24 Ma)(Allen

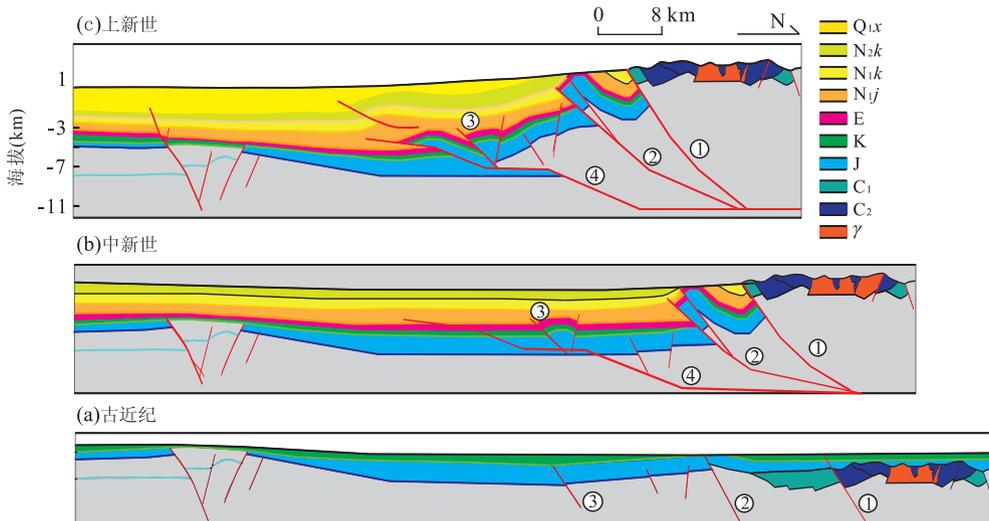


图7 库车坳陷东部二维构造平衡剖面

Fig. 7 2-D structural balanced section of the eastern Kuqa depression

①南天山山前断层;②依奇克里克断层;③吐孜洛克断层;④东秋里塔格断层;T-T<sub>3</sub>. 三叠系—古生界;J. 侏罗系;K. 白垩系;E. 古近系;N<sub>1j</sub>. 下中新统;N<sub>1k</sub>. 上中新统;N<sub>2k</sub>. 上新统;Q. 第四系

*et al.*, 1991; Hendrix *et al.*, 1994; Yin *et al.*, 1998), 库车坳陷逆冲推覆构造发生在上新世(5 Ma)(汪新等, 2002)。库车坳陷东部发育古近纪(中新统沉积前)、上新世两期断裂(表1)。前者与天山隆升的有关,发育高角度逆冲断层,造成山前基底抬升;后者发育低角度逆冲断层,引发盆地中生界—新生界挤压变形,形成天山山前库车坳陷挤压构造楔。库车挤压构造楔位于天山南翼,与中国台湾、尼日利亚三角洲、加拿大落基山、中国龙门山构造楔相似(Davis *et al.*, 1983; Bilotti and Shaw, 2005; Yue *et al.*, 2005; Suppe, 2007; Hubbard and Shaw, 2009)。天山隆升的扩展方式和山前挤压构造楔几何特征是什么? 山前与盆地断裂机制差异的原因? 控制库车坳陷构造变形期次的因素有哪些? 这些问题值得深入研究。

### 3 结论

上新世是库车坳陷构造转化期,中新统沉积前,库车坳陷发育高角度逆冲断层,引发基底抬升和白垩系—古近系剥蚀,变形范围局限于山前。中新世—上新世(24~5 Ma),库车坳陷沉降,沉积千米厚的陆相碎屑岩。上新世库车坳陷大规模挤压变形,发育低角度逆冲推覆断层,形成挤压构造楔。由此笔者推断天山新生代隆升始于中新世,挤压变形向山脉两侧盆地传播,早期变形局限于山前,上新世挤压变形传递到库车坳陷,盆地发生大规模变形。

本文基于断层褶皱之间几何学定量关系,从断层形态推测褶皱类型,或者从褶皱形态反推断层性质,确定了断层特征和变形机制;应用断裂褶皱运动学原理,测量了构造变形量,为变形前后地层平衡和构造检验提供数据;识别和测量了构造不整合面和生长地层,确定了断层褶皱变形时代;确立库车坳陷东部断裂特征和变形时代,厘定了新生代构造变形机制和演化过程。盆地隐伏构造定量研究不仅需要地质构造填图和地震资料的支撑,而且需要构造地质学理论的指导和定量技术方法的帮助,这方面的理论探索和实践尝试值得鼓励。

致谢:衷心感谢浙江大学地球科学学院赵博、关圣浩和中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院同仁的支持和协助。感谢本文编辑的辛勤劳作!

### References

Allen, M. B., Windley, B. F., Zhang, C., et al., 1991. Basin

- Evolution within and adjacent to the Tianshan Range, NW China. *Journal of the Geological Society*, 148(2): 369—378. doi:10.1144/gsjgs.148.2.0369
- Bilotti, F., Shaw, J. H., 2005. Deep-Water Niger Delta Fold and Thrust Belt Modeled as a Critical-Taper Wedge: The Influence of Elevated Basal Fluid Pressure on Structural Styles. *AAPG Bulletin*, 89(11): 1475—1491. doi:10.1306/06130505002
- Chen, C. M., Jia, C. Z., 1999. Structures and Petroleum Accumulation in the Qiulitag Thrust Front of the Kuqa Rejuvenated Foreland and Fold-Thrust Belt on the Northern Margin of the Tarim Basin. *Geological Review*, 45(4): 423—433 (in Chinese with English abstract).
- Davis, D., Suppe, J., Dahlen, F. A., 1983. Mechanics of Fold-and-Thrust Belts and Accretionary Wedges. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 88(B2): 1153—1172. doi:10.1029/JB088iB02p01153
- Guan, S. W., Wang, X., Yang, S. F., 2003. 3-D Structural Analysis on the Kuqa's Qiulitag Anticline Zone of the Southern Tianshan Mountains. *Geological Review*, 49(5): 464—473 (in Chinese with English abstract).
- Hendrix, M. S., Dumitru, T. A., Graham, S. A., 1994. Late Oligocene-Early Miocene Unroofing in the Chinese Tianshan: An Early Effect of the India-Asia Collision. *Geology*, 22(6): 487—490. doi:10.1130/0091-7613(1994)022<0487:LOEMUI>2.3.CO;2
- Hubbard, J., Shaw, J. H., 2009. Uplift of the Longmen Shan and Tibetan Plateau, and the 2008 Wenchuan ( $M=7.9$ ) Earthquake. *Nature*, 458(7235): 194—197. doi:10.1038/nature07837
- Jia, C. Z., 1997. Tectonic Characteristics and Petroleum Tarim Basin China. Petroleum Industry Press, Beijing, 348—364 (in Chinese).
- Jia, C. Z., 1999. Structural Characteristic and Oil/Gas Accumulative Regularity in Tarim Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(3): 177—183 (in Chinese and English abstract).
- Li, F., Jiang, Z. X., Li, Z., et al., 2015. Enriched Mechanism of Natural Gas of Lower Jurassic in Dibe Area, Kuqa Depression. *Earth Science*, 40(9): 1538—1548 (in Chinese and English abstract).
- Li, S. Q., Wang, X., Chen, N. H., 2009. Structural Characters and Deformation Mechanisms of Middle Segment of Qiulitag Anticline Zone in Kuqa Fold-and-Thrust Belt, Southern Tianshan Mountain, China. *Chinese Journal of Geology*, (3): 945—956 (in Chinese and English abstract).
- Lu, H. F., Chen, C. M., Liu, Z. H., et al., 2000. Tectonic Evolution of Kuqa Rejuvenated Foreland Basin. *Acta Petroli Sinica*, 21(3): 18—24 (in Chinese and English abstract).

- Lu, H. F., Jia, C. Z., Jia, D., et al., 2001. Features of the Thrust Wedge of Deformation Belt in Kuqa Rejuvenation Foreland Basin. *Geological Journal of China Universities*, 7(3): 257—271 (in Chinese and English abstract).
- Lu, H. F., Jia, D., Chen, C. M., et al., 1999. Nature and Timing of the Kuqa Cenozoic Structures. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 215—221 (in Chinese and English abstract).
- Molnar, P., Tapponnier, P., 1975. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects on a Continental Collision. *Science*, 189(4201): 419—426.
- Narr, W., Suppe, J., 1994. Kinematics of Basement-Involved Compressive Structures. *American Journal of Science*, 294(7): 802—860.
- Suppe, J., 1983. Geometry and Kinematics of Fault-Bend Folding. *American Journal of Science*, 283(7): 684—721.
- Suppe, J., 2007. Absolute Fault and Crustal Strength from Wedge Tapers. *Geology*, 35(12): 1127—1130. doi: 10.1130/G24053A.1
- Tang, L. J., Yu, Y. X., Yang, W. J., et al., 2007. Paleo-Uplifts and Salt Structures and Their Influence on Hydrocarbon Accumulations in the Kuqa Depression. *Geologica Sinica*, 81(2): 145—145 (in Chinese and English abstract).
- Wang, X., Jia, C. Z., Yang, S. F., 2002. The Time of Deformation on the Kuqa Fold-and-Thrust Belt in the Southern Tianshan-Based on the Kuqa River Area. *Geologica Sinica*, 76(1): 55—63 (in Chinese and English abstract).
- Wang, Z. M., 2014. Formation Mechanism and Enrichment Regularities of Kelasu Subsalt Deep Large Gas Field in Kuqa Depression, Tarim Basin. *Natural Gas Geoscience*, 25(2): 153—166 (in Chinese and English abstract).
- Wang, Z. M., Xiao, Z. R., 2005. A Comprehensive Review of the Oil Source Problems of Marine Crude Oil in the Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 49(A1): 1—8 (in Chinese).
- Xie, H. W., Chen, Z. X., Li, Y., et al., 2013. Structural Geatures of Xiqiu-Quele Thrust-Fold Belt and Its Hydrocarbon Exploration Implication in Tarim Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 33(6): 932—940 (in Chinese and English abstract).
- Yin, A., Nie, S., Craig, P., et al., 1998. Late Cenozoic Tectonic Evolution of the Southern Chinese Tianshan. *Tectonics*, 17: 1—27. doi: 10.1029/97TC03140
- Yue, L. F., Suppe, J., Hung, J. H., 2005. Structural Geology of a Classic Thrust Belt Earthquake: The 1999 Chi-Chi Earthquake Taiwan ( $M_w$  7.6). *Journal of Structural Geology*, 27: 2058—2083. doi: 10.1016/j.jsg.2005.05.020

### 附中文参考文献

- 陈楚铭, 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锋带的构造与油气. 地质论评, 45(4): 423—433.
- 管树巍, 汪新, 杨树峰, 等, 2003. 南天山库车秋里塔格褶皱带三维构造分析. 地质评论, 49(5): 464—473.
- 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, 348—364.
- 贾承造, 1999. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律. 新疆石油地质, 20(3): 177—183.
- 李峰, 姜振学, 李卓, 等, 2015. 库车坳陷迪北地区下侏罗统天然气富集机制. 地球科学, 40(9): 1538—1548.
- 李世琴, 汪新, 陈宁华, 2009. 南天山库车秋里塔格中段构造结变形特征和变形机理. 地质科学, (3): 945—956.
- 卢华复, 陈楚铭, 刘志宏, 等, 2000. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因. 石油学报, 21(3): 18—24.
- 卢华复, 贾承造, 贾东, 等, 2001. 库车再生前陆盆地冲断构造楔特征. 高校地质学报, 7(3): 257—271.
- 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等, 1999. 库车新生代构造性质和变形时间. 地学前缘, 6(4): 215—221.
- 汤良杰, 余一欣, 杨文静, 等, 2007. 库车坳陷古隆起与盐构造特征及控油气作用. 地质学报, 81(2): 145—145.
- 汪新, 贾承造, 杨树峰, 2002. 南天山库车冲断褶皱带构造变形时间——以库车河地区为例. 地质学报, 76(1): 55—63.
- 王招明, 2014. 塔里木盆地库车坳陷克拉苏盐下深层大气田形成机制与富集规律. 天然气地球科学, 25(2): 153—166.
- 王招明, 肖中尧, 2005. 塔里木盆地海相原油的油源问题的综述评. 科学通报, 49(A1): 1—8.
- 谢会文, 陈竹新, 李勇, 等, 2013. 塔里木盆地西秋—却勒冲断褶皱带地质结构特征及油气勘探区带. 石油学报, 33(6): 932—940.