

# 英吉苏凹陷中—新生代构造特征及成因机制

李德伦 段吉业 梁桂香 单玄龙 程新民

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

**摘要:** 英吉苏中生代凹陷是在古生代斜冲推覆构造背景之上发育起来的背驮式前陆盆地。盆地的沉积作用和变形作用严格受基底参与的斜冲断层的控制。中生代构造由北向南可划分7个带:北部斜坡带;群克—新开屏背斜带;英北向斜带;阿拉干背斜带;英南向斜带;古城墟斜坡带和罗布庄断凸带。叠瓦式逆冲断层、花状构造、构造三角带、断展褶皱和披覆构造是英吉苏凹陷的主要变形样式。自三叠纪以来,不同时期的沉积中心自造山带向前陆方向迁移。中生界变形的动力学和运动学是与塔里木板块南缘活动大陆边缘的板块拼贴事件和壳内拆离缩短作用有关。

**关键词:** 斜冲断层;披覆构造;背驮式前陆盆地;英吉苏凹陷

**中图分类号:** P546 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2003)02-0123-07

英吉苏凹陷位于塔里木盆地东北部,其北邻库鲁克塔格隆起,南至罗布庄断凸,西接满加尔凹陷,东邻罗布泊,总面积为4.5万km<sup>2</sup>。

英吉苏凹陷是塔里木盆地研究程度较低的地区之一,只完成过重磁普查,北部露头区的地质调查和部分地区的二维地震工作,“九五”计划以来才开始进行大规模的地球物理勘测。英吉苏凹陷与库车凹陷同处于塔里木盆地北缘,三叠纪以来,具有类似的沉积-构造演化的历史,都是主力生油岩——侏罗系的沉降中心。1995年以来,库车凹陷先后在克拉2井、依南2井等获高产工业油气流<sup>[1]</sup>,塔里木人已于2002年1月11日在阿拉干背斜北带打出了高产油气流,但英吉苏凹陷能否成为大油气田,已是目前地质工作者关注的焦点。

## 1 区域地质概况

英吉苏凹陷是在古生代构造背景之上发育起来的上叠盆地。古生代晚期,北部天山洋最终关闭,碰撞后隆升,形成古天山,并向盆地内逆冲推覆。三叠纪开始,英吉苏凹陷进入前陆盆地的演化阶段<sup>[2]</sup>,沉

积了一套中生代磨拉石建造。

三叠系只分布在新开屏及其以东的山前断裂的下盘,厚度为1500~3000m,主要为一套三角洲相、湖泊相的砂泥岩夹煤层<sup>①</sup>。中下侏罗统分布于孔雀河断裂和罗布庄断裂之间的凹陷带内,厚度为500~1600m,主要为沼泽—滨浅湖—半深湖的煤系地层。白垩系在该区有广泛的分布,厚度为1000m,主要为河流、滨浅湖相的砂砾岩、泥岩和膏岩。新近系与古近系的分布已扩展到罗布庄断裂以南,并直接覆盖于前震旦纪结晶基底之上,厚度为2000m,主要为河流、浅湖相砂砾岩、泥岩和膏岩。其中侏罗系与三叠系,古近系—白垩系与侏罗系,新近系与古近系为区域性角度不整合接触<sup>[3]</sup>。

## 2 构造特征

### 2.1 构造分带

据侏罗系底界面埋深图,英吉苏凹陷由北向南可划分7个构造带(图1),各构造带和局部构造特征见表1。

### 2.2 斜冲断层

区内的斜冲断层主要有北西向和北东向两组。

收稿日期:2002-04-20;改回日期:2002-12-25

基金项目:国家“九五”重点科技攻关项目(96-111-03-06-02)资助。

作者简介:李德伦,男,1947年生,教授,从事构造地质学、区域地质的教学和科研工作。

① 据华北石油局勘探报告,1998。

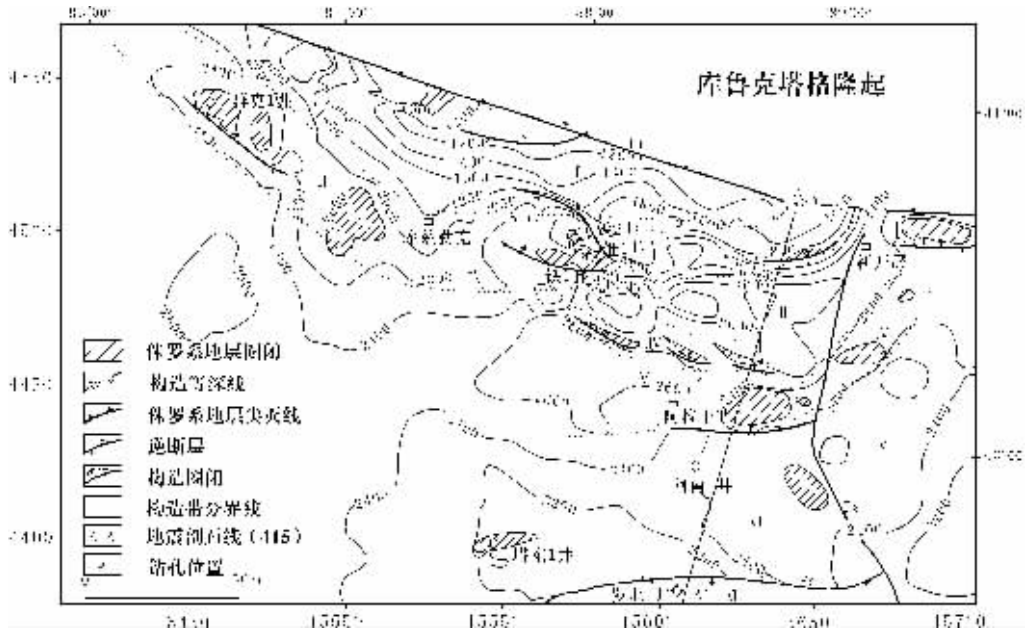


图1 英吉苏凹陷侏罗系底面埋深图(等值线单位:m)

I—北部斜坡带; II—群克—新开屏背斜带; III—英北向斜带; IV—阿拉干背斜带; V—英南向斜带; VI—古城墟斜坡带; VII—罗布庄断凸带;  
 F<sub>1</sub>—孔雀河断裂; F<sub>2</sub>—罗布庄断裂; F<sub>3</sub>—阿拉干东断裂; F<sub>4</sub>—古城墟北缘断裂; F<sub>5</sub>—罗布泊北缘断裂

Fig.1 Contour map of the bottom of the Jurassic of the Yingjisu depression

I—Northern slope belt; II—Qongkal—Xinkaiping anticlinal belt; III—Northern Yingjisu—syncline belt; IV—Arlagan anticlinal belt; V—Southern Yingjisu—synclinal belt; VI—Guchengxu slope belt; VII—Luobuzhuang fault uplift; F<sub>1</sub>—Kongquehe fault; F<sub>2</sub>—Luobuzhuang fault; F<sub>3</sub>—Eastern Arlagan fault; F<sub>4</sub>—Northern Guchengxiu marginal fault; F<sub>5</sub>—Northern Luobubuo marginal fault

北西向断裂相对比较发育,分布于区内西北部,主要向北东倾斜;北东向断裂分布于区内东部和南部,主要向北西倾斜(图1)。据分析,断裂构造有如下特点:  
 (1)断裂在北部区域比较发育,向南变少,并且断裂的强度由北向南逐渐减弱,反映区域应力作用方向是由北向南。(2)斜冲断层在平面上呈雁列式分布(图1),在剖面上呈正花状构造,组成两断夹一隆的“丫”字型,如群克构造、维马克构造、英南1井构造、铁南2井构造和阿拉干构造等,反映断层作用扭应力分量的存在(图2)。(3)断层产状呈上陡下缓的犁形,向北倾斜,剖面上组成叠瓦式构造,如孔雀河断裂、罗布泊北缘断裂、阿拉干背斜北带南缘断裂和古城墟北缘断裂。(4)断层向下切入前震旦纪结晶基底,归并于深部的滑脱层,以韧性变形为特征,库鲁克塔格兴地断裂糜棱岩的广泛出露证实了这一结论;断层向上扩展到沉积盖层,除盆地北部边缘孔雀河断裂外,多数断层终止于侏罗系和白垩系,属于非突破性断层<sup>[4]</sup>。(5)断层具有多期活动的特点,表现为:①

与断层伴生的古生代褶皱相对紧闭,多为断层传播褶皱,中生代褶皱开阔平缓,多为断展褶皱。②随着地层时代的变老,地层断距增大。③断层下降盘地层厚度大于上升盘。(6)对冲(构造三角带)构造是区内斜冲断层的另一种组合型式。区内的罗布庄断裂和古城墟北缘断裂为倾向相反的对冲断层,它们和基底滑脱层组成构造三角带,构成古生代的古城墟低凸和中、新生代的斜坡带。

### 2.3 披覆构造

披覆构造是由古剥蚀面以下的古隆起和古剥蚀面之上的披盖层构造两部分组成,形成上、下叠置、形态特征又迥然不同的构造组合(图3)。区内披覆构造可划分两种类型:一种是断块潜山披覆构造组合,主要分布于英吉苏凹陷南、北斜坡,如群克构造、维马克构造、铁2井构造、新开屏西构造、新开屏东构造和塔东1井构造等;另一种是褶皱潜山披覆构造组合,主要分布于盆地中部,如阿拉干背斜、英南1井背斜等。

表 1 英吉苏构造带的构造特征  
Table 1 Structural characteristics of the Yingjisu structural belt

序号	构造分带	圈闭名称	地震层位	地质层位	圈闭要素			主要控制测线	构造特征
					海拔零深度/m	幅度/m	面积/km <sup>2</sup>		
I	北部斜坡带	孔雀河南地层圈闭	T8-3	J	-1 000	100	200	K87-769 K87-759	该带平面上呈三角形,北西向断裂发育,中、新生代地层受断层控制,逐级上抬,形成倾向盆地中心的掀斜断块。在库兹勒克以北 30 km,为侏罗系削蚀尖灭圈闭,古近系—新近系膏岩、泥岩为盖层
		群克 1 井构造	T8-3	J	-2 200	250	268	N5-651 EW-486	
II	新开屏背斜构造带	库兹勒克西构造	T8-3	J	-2 000	100	224	MD96-281	该带整体走向东西,呈向南弯突的弧形构造带。西段走向北西,局部构造分布于塔里木河断裂的上盘,构造长轴与断裂斜交;东段走向北东东,局部构造分布于罗布泊北缘断裂上盘,构造长轴与断裂平行。据地震资料分析,该带构造属断块潜山坡覆构造
		铁南 2 井构造	T8-3	J	-1 900	200	45	K88-781	
		维马克 1 井构造	T8-3	J	-2 000	200	48	MD96-956 MD87-794	
		新开屏西构造	T8-3	J	-1 800	100	28	K87-834	
		新开屏东构造	T8-3	J	-2 200	500	340	MD96-447	
III	英北向斜带							该带为一指向西部的三角形。该带侏罗系埋藏深,厚度大(1 600 m),为英吉苏凹陷主要生油区	
IV	阿拉干背斜构造带	铁 1 井南背斜	T8-3	J	-2 500	100	44	MD96-940 MD96-367	该带为一狭窄的弧形构造带,可分为北、南两个带:北带呈近东西向,由铁 1 井南背斜、英南 1 井背斜和英南 1 井东背斜组成,呈雁列式分布;南带分布于阿拉干以东,呈北东向分布,由 4 个呈雁列式分布的背斜组成。在地震剖面图上,背斜北翼缓,南翼陡,为断展褶皱,反映主压应力方向是由北向南的
		英南 1 井背斜	T8-3	J	-2 400	300	236	MD96-950 MD96-383	
		阿拉干背斜	T8-2	K	-2 000	150	310	MD96-415 MD96-431	
		阿拉干东背斜	T8-3	J	-2 200	<100	12	MD96-956	
V	英南向斜带							该带为一指向东的三角形,向斜呈一宽缓的碟形。侏罗系底部埋深相对英北向斜浅,侏罗纪地层最大厚度为 800 m,是英吉苏凹陷的主要生油区	
VI	古城墟斜坡带	阿南 1 井断鼻	T8-3	J	-2 400	<100	104	EW-450 MD96-399	该带南界为控制中生代地层分布的边界断层——罗布庄断层。带上分布有塔东 1 井构造,分布于罗布庄断裂下盘,长轴平行于断裂走向。阿南 1 井东构造位于阿拉干东断层的上升盘,长轴平行于该断裂走向,构造上有侏罗纪地层和古生代剥蚀面,可作为储层,白垩纪的膏岩和泥岩为盖层,形成很好的构造圈闭
		塔东 1 井构造	T8-2	K	-2 000	<50	80	MD96-351	
		阿南 1 井东构造	T8-2	K	-2 200	50	380	MD96-924	

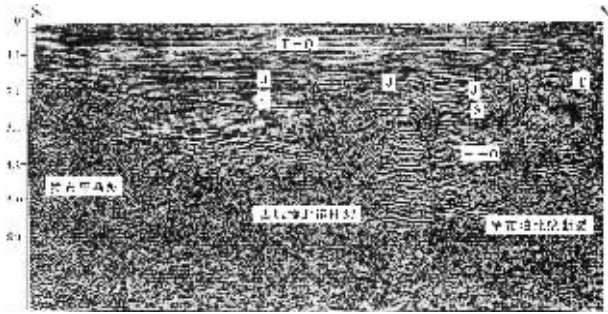


图2 地震反射剖面图(SN415, AA')

E-Q—古近系—第四系;K—白垩系;J—侏罗系;T—三叠系;  
S—志留系;ε—O—寒武系—奥陶系

Fig.2 Seismic reflection profile across fold-thrust belts. See Fig.1 for the location of line AA'

E-Q—Paleogene-Quaternary;K—Cretaceous;J—Jurassic;  
T—Triassic;S—Silurian;ε—O—Cambrian-Ordovician

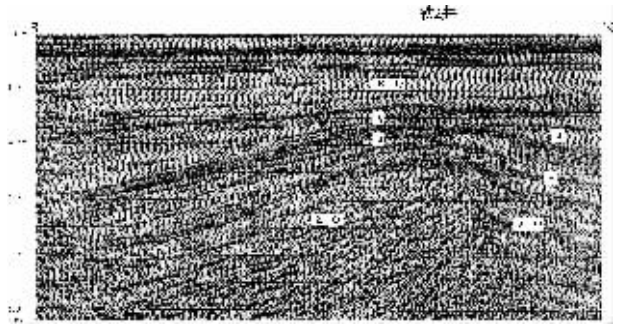


图3 披覆构造(K88-781,铁南2井构造)

K-Q—白垩系—第四系;J—侏罗系;S—志留系;  
Z-O—震旦系—奥陶系

Fig.3 Drape anticline structure

K-Q—Cretaceous-Quaternary;J—Jurassic;S—Silurian;  
Z-O—Sinian-Ordovician

英吉苏披覆盖层构造和基底参与的斜冲断层紧密相伴生,即无断不褶,形成于斜冲断层的终端,构成断展褶皱,显然这种褶皱具有与断层同步形成的特点<sup>[5]</sup>。

### 2.4 盆地迁移

钻孔、地震和岩相分析资料表明,中生代以来,

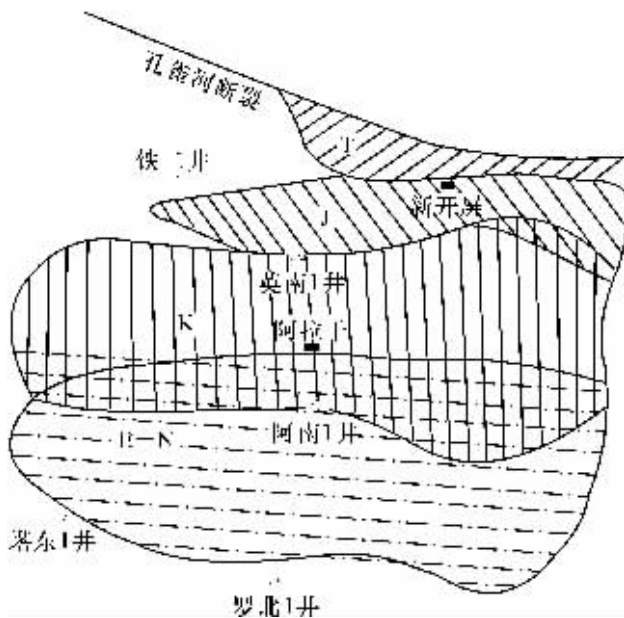


图4 英吉苏中生代沉积中心迁移示意图

T—三叠系;J—侏罗系;K—白垩系;E-N—古近系—新近系

Fig.4 Schematic map showing the migration of the Mesozoic-Cenozoic Yingjisu depocenter

T—Triassic;J—Jurassic;K—Cretaceous;  
E-N—Paleogene-Neogene

各地质历史时期盆地的沉降中心是由北向南迁移<sup>[6]</sup>(图4)。三叠系分布于盆地北缘东部的山前地带,SN415地震剖面尤为明显,该剖面北端斜冲断层之下有一组呈散状下倾的地震波组,其厚度为1500~3000 m(图2)。侏罗系沉降中心已南迁于英北洼槽,地层最大厚度可达1600 m。白垩系沉积盆地扩大,沉降中心迁移到英南洼槽。由图5可以看出在侏罗系底界面埋深图的英北凹陷已消失,被斜坡所取代,阿拉干背斜带的北带已变成北部斜坡隆起带,英南凹陷也明显向南扩展。古近纪—新近纪地层沉积范围进一步扩大,向南扩展到古城墟斜坡以南。阿南1井揭示该区古近系底部为泥质岩和粉砂岩互层,向北各钻孔资料显示该层岩性的粒度变粗,反映古近纪的沉积中心已扩展到阿南1井及其以南地区<sup>[7]</sup>,罗北1井揭示了古近系覆盖在前震旦纪结晶基底之上。

三叠纪—新近纪地层向前陆方向呈逐层上超,在北部斜坡K87-844和MD95-480地震反射剖面图上记录了侏罗纪、白垩纪沉积作用由北向南扩展,地层逐层上超,造成高位域斜交前积相(图6),也反映了盆地北部逐渐隆升,随着地层时代变新,沉积中心逐步南迁的历史。

### 3 运动学和动力学机制

通过以上分析,英吉苏凹陷斜冲断层控制的构造分带、古隆起控制的中生代构造、地层受南北应

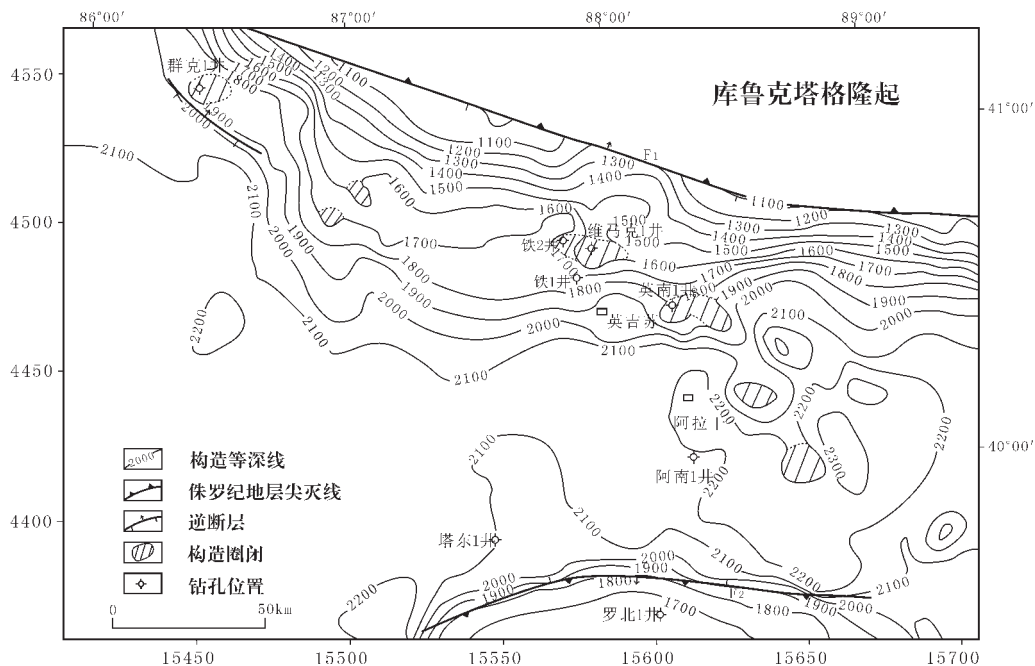


图 5 白垩纪底界面埋深图(等值线单位:m)

Fig.5 Contour map of the bottom of the Cretaceous of the Yingjisu depression

力作用叠置缩短及盆地的迁移等,都与基底卷入型褶皱—冲断层的形成和深层次的滑脱作用有关。据地震和大地电磁测深资料,在塔里木盆地北缘、库鲁克塔格以及天山造山带 20~30 km 深处存在厚约 10 km 的壳内低速层,18~30 km 深处存在壳内高导层<sup>[2]</sup>。中国西部震源深度大多位于 10~30 km,

在强震区和多震区震源深度往往与下伏壳内高导层的发育相伴随<sup>[8]</sup>,也证实了这一滑脱层的存在。有资料表明,塔里木盆地在盖层与基底之间、上地壳与下地壳之间、壳—幔之间以及上地幔内部,存在着不同的密度界面,也表明深部地质结构存在多层的滑脱系统<sup>[2]</sup>。区域资料研究结果表明,海西晚期天山大洋闭合,形成天山造山带,并向盆地内逆冲推覆<sup>[9]</sup>,致使岩石圈加载下弯,造成密度大、重而冷的克拉通基底

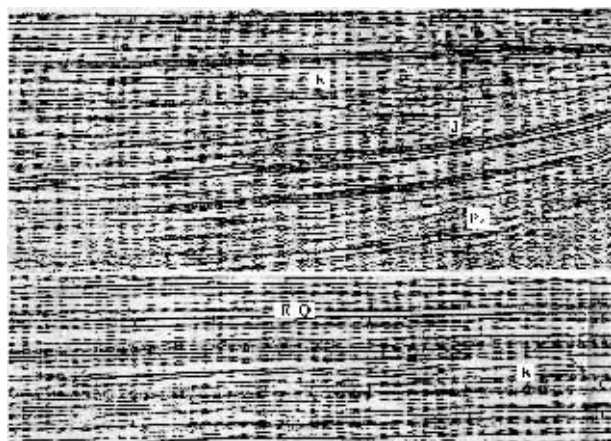


图 6 地震反射剖面图

E-Q—古近系—第四系;K—白垩系;J—侏罗系;Pz—古生界

Fig.6 Seismic reflection profiles (see Fig. 1 for the location of lines DD' and EE')

E-Q—Paleogene—Quaternary;K—Cretaceous;J—Jurassic;Pz—Paleozoic

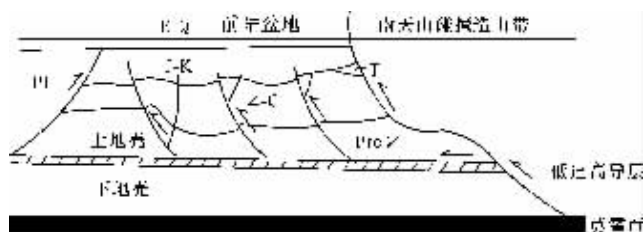


图 7 英吉苏背驮式前陆盆地地球动力学模型

E-Q—古近系—第四系;J-K—侏罗系—白垩系;T—三叠系;Z-C—震旦—石炭系;PreZ—前震旦系;Pt—元古界

Fig.7 Geodynamic model of the Yingjisu piggyback foreland basin

E-Q—Paleogene—Quaternary;J-K—Jurassic—Cretaceous;T—Triassic;Z-C—Simian—Carboniferous;PreZ—Pre-Simicen;Pt—Proterozoic

下沉到密度小、轻而热的造山带之下,形成前陆“A”型俯冲作用<sup>[10]</sup>(图7),其前陆的沉积作用和变形作用必然受到下伏斜冲断层构造的控制。鉴于上述分析,英吉苏中生代凹陷盆地的性质应属于背驮式前陆盆地。

有关英吉苏凹陷中生界变形的动力来源应考虑其周边板块构造热事件对其影响,这一时期天山没有板块俯冲发生,而塔里木南缘特提斯洋的周期性俯冲消减和闭合作用的远程效应则是天山和盆地内中生代构造变形的主因。如三叠纪晚期的羌塘碰撞、侏罗纪晚期拉萨碰撞、白垩纪晚期的科希斯坦碰撞及始新世在雅鲁藏布江缝合线发生的印藏陆陆碰撞<sup>[11]</sup>。

## 4 结 论

(1)英吉苏凹陷中生代构造由北向南呈向南突出的弧形,并成排分布,局部构造集中分布在3个构造带内,背斜构造北翼缓,南翼陡,反映主压应力的作用方向由北向南。(2)断裂构造多向北或北东倾斜,平面上呈雁列分布,剖面上呈“丫”字形,反映断层作用扭应力的存在,叠瓦式构造、对冲构造反映断层作用挤压应力的存在,因此,压扭性断层是该区断层主要力学性质。(3)中生代褶皱之下都有古隆起为背景,而两者又多受上陡下缓向北倾斜的犁形断层的控制。(4)自中生代以来,随着地层时代的变新,沉积盆地中心由北向南迁移,反映了造山带向盆地逆冲推覆的历史,凹陷盆地的性质属于背驮式前陆盆地。

本文的地震资料来源于西北石油局和华北石油局,在此表示感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 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 Huafu, Jia Dong, Chen Chuming, et al. Nature and timing of the Kuqu Cenozoic structures [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 215~221(in Chinese with English abstract).
- [2] 汤良杰.塔里木盆地演化和构造样式[M].北京:地质出版社,1996.69~80.  
Tang liangjie. Evolution and structural styles of Tarim basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.69~80(in Chinese with English abstract).
- [3] 李德伦,单玄龙,梁桂香,等.塔里木盆地孔雀河斜坡地区中生代地

质特征及油气远景评价[J].长春科技大学学报,1999,(4):334~340.  
Li Delun, Shan Xuanlong, Liang Guixiang, et al. Geological characteristics of the Meso-Cenozoic and appraisal of oil and gas prospect of Kongquehe slop area in Tarim basin [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999, 29 (4): 334~340(in Chinese with English abstract).

- [4] 刘志宏,卢华复,李西建,等.库车再生前陆盆地的构造演化[J].地质科学,2000,35(4):482~492.  
Liu Zhihong, Lu Huafu, Li Xijian, et al. Tectonic evolution of Kuqa rejuvenated foreland [J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35 (4): 482~492 (in Chinese with English abstract).
- [5] Show J H, Suppe j. Active faulting and growth folding in the eastern Santa Barbara Channel [J]. California Geological society of American Bulletin, 1994, 106: 607~626.
- [6] Beaumont C. Foreland basin [J]. J R Astr Soc, 1981, 65: 291~329.
- [7] 陈荣林,朱宏发,陈跃,等.塔里木盆地中生界沉积特征与石油地质[M].南京:河海大学出版社,1995.40~49.  
Chen Ronglin, Zhu Hongfa, Chen Yue, et al. The characteristics of the Meso-Cenozoic sedimentation and petroleum geology in the Tarim basin [M]. Nanjing: Hehai University Press, 1995. 46~61 (in Chinese with English abstract).
- [8] 马宗晋.地震活动[A].见:马杏垣主编.中国岩石圈动力学纲要[C].北京:地质出版社,1987.25~29.  
Ma Zhongjin. Seismic action [A]. In: Ma Xingyuan ed. Sketch of lithosphere dynamics in China [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 25~29 (in Chinese with English abstract).
- [9] 贾承造,姚慧君,魏国齐,等.盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995.46~61.  
Jia Chengzao, Yao Huijun, Wei Guoqi, et al. Tectonic evolution and regional structural geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 46~61 (in chinese with English abstract).
- [10] 罗金海,车自成,李继亮.中亚及中国西部侏罗纪沉积盆地的构造特征[J].地质科学,2000,35(4):404~414.  
Luo Jinhai, Che Zicheng, Li Jiliang. Structural features of Jurassic subsidence basin in the mid-Asia and western China [J]. Scientia geologica Sinica, 2000, 35(4): 404~414 (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈发景,汪新文,张光亚,等.中国中生代前陆盆地的构造特征和地球动力学[J].地球科学,1996,21(4):366~371.  
Chen Fajing, Wang Xinwen, Zhang Guangya, et al. Structural features and geodynamic of the Meso-Cenozoic foreland basin in China [J]. Earth Sciences, 1996, 21(4): 366~371 (in Chinese with English abstract).

## Structural characteristics and genetic mechanism of the Meso–Cenozoic Yingjisu piggyback foreland basin

LI De-lun, DUAN Ji-ye, LIANG Gui-xiang, SHAN Xuan-long, CHENG Xin-min

(*School of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*)

**Abstract:** The Meso–Cenozoic Yingjisu depression is a piggyback foreland basin developed in the setting of the Paleozoic thrust nappe structure. The sedimentation and deformation of the basin is strictly controlled by thrusts. From north to south the Meso–Cenozoic structure may be divided into seven belts: the northern slope belt, Qongkol–Xinkaiping anticlinal belt, northern Yingjisu synclinal belt, Alagan anticlinal belt, southern Yingjisu synclinal belt, Guchengxu slope belt and Luobuzhuang fault rise. The imbricate thrusts, upthrust structure, structural triangle zones, fault–propagating folds and drape structure are the main deformation styles of the Yingjisu depression. Since the Triassic, the depocenters in different epochs migrated from the orogenic belt to the foreland. The Meso–Cenozoic deformation dynamics and kinematics are related to the amalgamation of plates on the active continental margin of the southern Tarim plate margin and intracrustal detachment–shortening.

**Key words:** thrust; drape structure; piggyback foreland basin; Yingjisu depression