

塔东南隆起沉积-构造特征及其演化历史

许怀智¹ 张岳桥² 刘兴晓³ 周成刚³ 许建华³

(1. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
3. 中国石油东方地球物理公司研究院库尔勒分院, 新疆 库尔勒 841001)

摘要:基于地震剖面、岩心、测井和露头剖面等资料分析,运用平衡剖面复原技术,论述了塔里木盆地塔东南隆起带古生代以来的沉积-构造特征及其演化历史。在地震剖面上识别出 6 个地层不整合界面,划分了 5 个主要地层构造层序。指出塔东南隆起形成于晚奥陶世加里东运动,经历了加里东、海西、印支、燕山和喜山多次构造运动,在中生代以陆内变形为主,受到南北两条主边界断裂的控制,于中生代早期发生伸展断陷,并遭受晚新生代喜山运动的强烈挤压改造,形成了现今两凹两凸的构造格局。

关键词:地震层序;沉积-构造特征;演化历史;平衡剖面;塔东南隆起;塔里木盆地

中图分类号:P542;P539 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)05-1030-16

塔东南隆起位于塔里木盆地东南部,是塔里木盆地的一级构造单元。南以阿尔金断裂为界,与青藏高原相邻,北为车尔臣断裂所限,西南起于策勒,向东至罗布庄,呈 NEE 向条带状展布,南北宽 80~150 km,东西长约 1000 km,总面积达 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。地球物理、钻井和露头资料证实,本区基底由元古宙深灰色变质白云质石英砂岩、黑云母石英片岩和灰白、浅紫褐色大理岩等组成,盖层发育石炭系、二叠系、侏罗系、古近系、新近系和第四系,缺失下古生界、三叠系及白垩系^[1]。该隆起带油气地质勘探程度较低,地震测网密度为 $8 \times 32 \text{ km}$,目前共有 4 口钻井,仅有若参 1 井在侏罗系见到 30 m 气测显示^[2]。以往的研究工作也相对薄弱,主要集中在侏罗系的沉积特征、层序地层、构造演化和石油地质条件等方面^[3-12],对隆起带构造演化历史尚缺乏系统的研究,并存在认识上的分歧。本文在前人研究工作的基础上,通过地震剖面的精细解释和露头地层剖面,以及岩心对比等,在地震剖面上识别出研究区的 6 个区域不整合面,划分了 5 个主要构造层序,分析了地层

分布和沉积特征等,同时运用剖面平衡方法讨论了本区构造演化历史,为塔东南隆起油气勘探提供构造地质依据。

1 区域构造格局

1.1 主边界断裂

塔东南隆起是由南北主干边界断裂所夹持的断隆,北以车尔臣断裂为界,南至阿尔金断裂,这两条主干断裂控制着整个塔东南隆起的形成和演化历史。

车尔臣断裂是塔东南隆起北缘主干边界断裂(图 1),西起策勒、向东北经民丰、且末北,沿车尔臣河到罗南地区,总体走向 $N43^\circ E$,东西延伸长约 1000 km。在平面上,从策勒到民丰北这段向北弧形凸出,从安 1 井到罗布庄凸起段呈线性延伸。在剖面上,断裂上盘剥蚀严重,残留上石炭—下二叠统、侏罗系和新生界,下盘地层发育较齐全。根据断裂剖面结构特征,将车尔臣断裂分为西、中、东三段。

断裂西段从策勒至安 1 井,在反射地震剖面上(MF03-228)表现为上陡下缓的逆冲断裂(图 2),新

收稿日期:2009-01-13;改回日期:2009-04-25

基金项目:中国石油东方地球物理有限责任公司“塔里木盆地新区、新领域勘探目标优选与评价”科研项目(41005070046)资助。

作者简介:许怀智,男,1976 年生,硕士生,工程师,主要从事构造研究和盆地分析;E-mail:hxh1976@163.com。

通讯作者:张岳桥,男,1963 年生,教授,博士生导师,主要从事构造地质、新构造和盆地分析研究工作;E-mail:yueqiao-zhang@sohu.com。

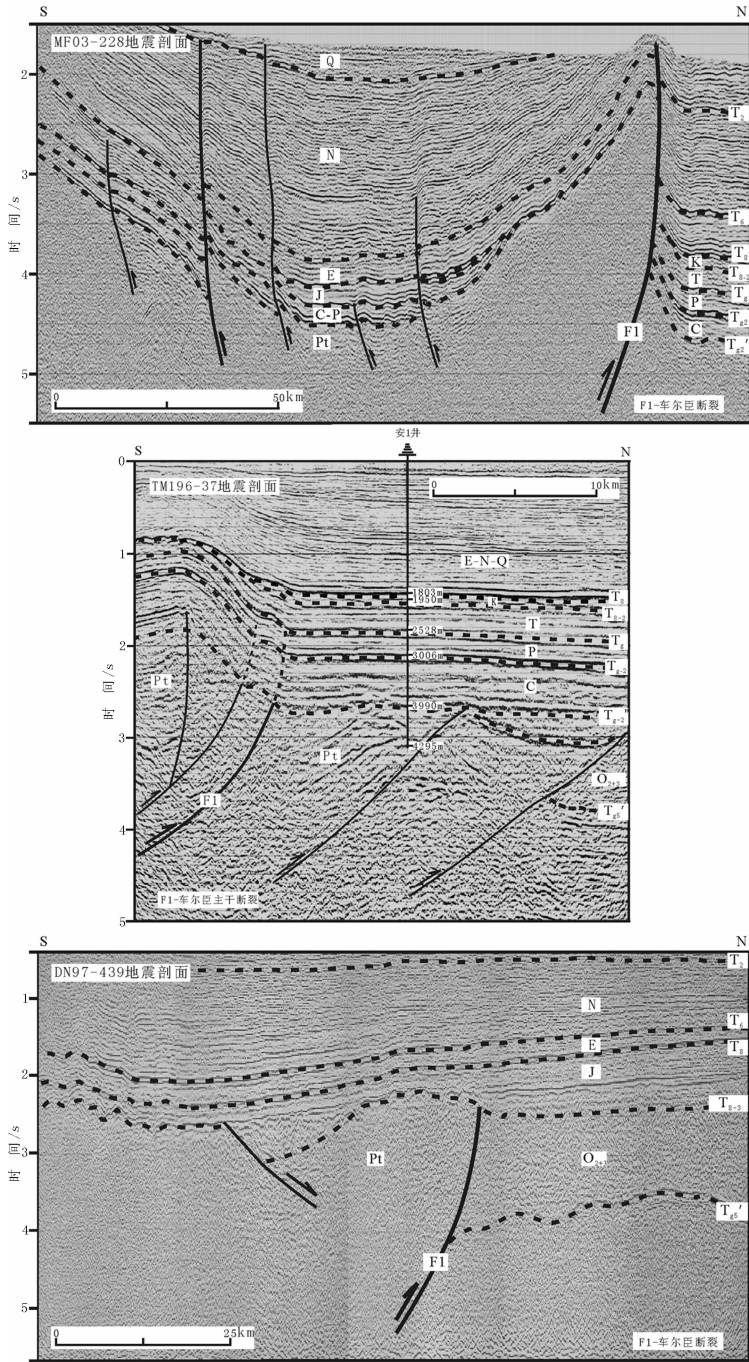


图2 车尔臣断裂地震反射剖面(西段 MF03-228;中段 TM196-37;东段 DN97-439)(位置见图1)
 Q—第四系;N—新近系;E—古近系;K—白垩系;T—三叠系;J—侏罗统;P—二叠系;C—石炭系;O₂₊₃—中上奥陶统;
 Pt—前寒武变质基底;T₂—第四系底地震反射界面;T₆—新近系底地震反射界面;T₈—古近系底地震反射界面;
 T₈₋₂—白垩系底地震反射界面;T₈₋₃—侏罗系底地震反射界面;T_g—三叠系底地震反射界面;T_{g-2}—二叠系底地震反射界面;
 T_{g5}—石炭系底地震反射界面;T_{g5}—中、上奥陶统底地震反射界面

Fig.2 Seismic profiles (the west segment MF03-228; the middle segment TM196-37; the east segment DN97-439) along the Chercheng Fault (see Fig. 1 for location)

Q-Quaternary; N-Paleogene; E-Neogene; K-Cretaceous; T-Triassic; J-Jurassic; P-Permian; C-Carboniferous; O₂₊₃-Middle and Upper Ordovician; Pt-Precambrian metamorphic terrain; T₂-Seismic reflection interfaces of Quaternary bottom; T₆-Seismic reflection interfaces of Paleogene bottom; T₈-Seismic reflection interfaces of Neogene bottom; T₈₋₂-Seismic reflection interfaces of Cretaceous bottom; T₈₋₃-Seismic reflection interfaces of Jurassic bottom; T_g-Seismic reflection interfaces of Triassic bottom; T_{g-2}-Seismic reflection interfaces of Permian bottom; T_{g-2}-Seismic reflection interfaces of Carboniferous bottom; T_{g5}-Seismic reflection interfaces of Middle and Upper Ordovician bottom

却带估算出(350±100)km的错距。Ritts and Biffi^[29]根据侏罗纪沉积时的湖岸线估算出(400±60)km的错距。Meng et al^[30]利用东、西昆仑山的早古生代和晚三叠纪的缝合线以及中生代地层的尖灭点分别估算出 380 km 和 350~400 km 的累计位移量。

1.2 塔东南隆构造格局

据已有地球物理勘探资料显示,塔东南隆起呈两凹两凸的构造格局(图 1,3):由西至东依次为民丰凹陷、且末凸起、瓦石峡凹陷和罗布庄凸起^[1,9]。凹陷内发育巨厚的中生代地层,而凸起上新生界直接覆盖在基底之上。

民丰凹陷位于塔东南地区西部,东以石炭系削蚀尖灭线为界,由民丰次凹和于田次凹组成,面积约 3×10⁴ km²。根据地震反射剖面 and 钻井(图 2,7),凹陷内发育上石炭—下二叠统、中晚侏罗统和新生界,最大沉积厚度分别为 800、1000 和 4500 m。凹陷受到后期挤压改造,形成 NE 向基底卷入的压性构造。

瓦石峡凹陷以侏罗系向东和向西的尖灭线为东、西边界,面积约 4×10⁴ km²。这是一个中生代断陷盆地,凹陷内发育有侏罗系河湖相地层,其上被巨厚的新生代地层覆盖,最大沉积厚度达 5000 m。早侏罗世沉积主要受 NNE 和 N-S 向的半地堑和半地垒伸展构造样式所控制(图 4,5),地堑边界以平直或弯曲状正断裂为主,断层倾角在 45~55°。在断陷缓坡一侧,常发育次一级反向正断层,侏罗系直接超覆在元古宇结晶基底上。中生代伸展断陷盆地受到

晚新生代喜马拉雅构造运动的强烈改造,中生代地层与新生代地层一起发生褶皱(图 5)。

2 地震层序划分及其特征

塔东南隆起经历了多期区域性构造运动,形成多旋回的沉积-构造组合以及多个地层不整合界面。识别这些不整合界面与确定沉积构造组合特征,是研究该区大地构造演化的基础。本文依据地震反射剖面、钻井岩心、测井和露头等资料(图 2,5,7),对本区发育的晚古生界、中生界和新生界进行了详细的对比分析,并在地震剖面上识别出 6 个区域不整合层序界面(图 2,5),以这些不整合为界,将研究区自上而下划分为 5 个沉积-构造组合的地震层序(图 6)。

T₂地震层序当于第四系,反射特征为变振幅弱连续反射。T₂反射界面对应于更新统底界面,与下伏新近系阿图什组呈角度不整合接触,地震剖面上可见上超和削截现象,区内分布稳定,可连续追踪。岩性特征主要为一套中厚-厚层状杂色砂砾岩夹灰黄色泥岩、粉砂质泥岩,与下伏地层岩性界面不易区分;但测井电阻率值和声波时差值普遍高于下伏地层,分层界线明显(图 7)。

T₆地震层序相当于新近系,反射特征为中频变振幅较连续反射。T₆反射界面为乌恰群底,与下伏地层呈角度不整合接触。在瓦石峡凹陷,乌恰群岩性特征上部为巨厚层状浅棕色泥质粉砂岩、粉砂岩夹中厚层状粉砂质泥岩;中部为巨厚层状粉砂质泥岩

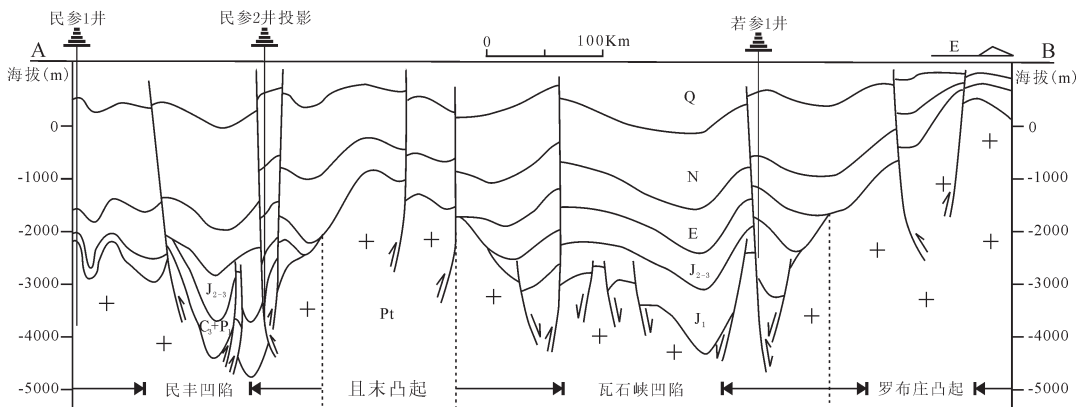


图 3 塔东南隆起近东西向构造剖面图

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;J₂₋₃—中、上侏罗统;J₁—下侏罗统;C₃-P₁—上石炭统—下二叠统;Pt—前寒武变质基底
 Fig.3 WE-trending structural section along the Tadongnan uplift zone
 Q—Quaternary; N—Paleogene; E—Neogene; J₂₋₃—Middle and Upper Jurassic; J₁—Lower Jurassic; C₃-P₁—Upper Carboniferous—Lower Permian; Pt—Precambrian metamorphic terrain

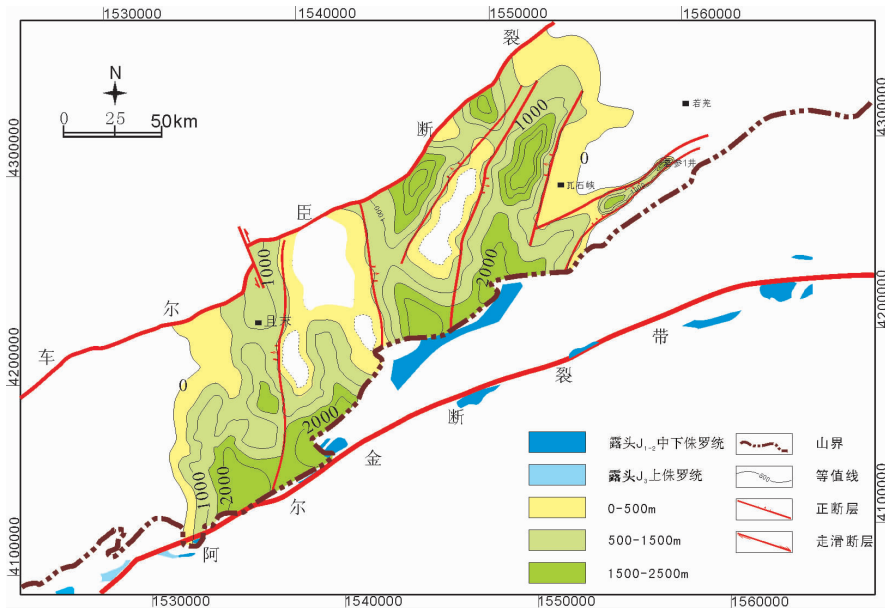


图 4 瓦石峡凹陷下侏罗统残余厚度图

Fig. 4 Residual thickness map of Lower Jurassic strata in Washixia depression

夹巨厚层状泥质粉砂岩；下部以巨厚层状浅棕色粉砂岩、泥质粉砂岩、含砾粉砂岩及细砂岩为主，夹中厚层状浅棕色膏质细砂岩及粉砂质泥岩。阿图什组岩性主要为杂色、褐灰色、深灰色砂砾岩与灰黄色、浅棕色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩呈不等厚互层。在民丰凹陷，乌恰群岩性主要为深灰色、灰色、褐色细砂岩、含砾细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与褐色、棕色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩呈不等厚互层；阿图什组为杂色小砾岩与灰黄色、黄色、褐色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩、泥质砂岩呈不等厚互层(图 7)。民参 1 井岩心含有一定数量的孢粉，蕨类孢子：*Sphagnumsporites*, *Polypodiaceasporites*, *Deltoidospora*, *Polypodiisporites* 等，裸子植物花粉：*Cedripites*, *Abietinaepollenites*, *Pinuspollenite* 等，被子植物花粉：*Retitricolpites*, *Caryapollenites*, *Betulaceoipollenites*, *Betulaepollenites*, *Tricolpo pollenites* 等^[31]。本组底部岩性为浅棕色，粒度相对较粗为含砾细砂岩、细砂岩。下伏库姆格列木群顶部岩性为浅棕色，粒度较细为粉砂岩，岩性界面明显。底部尖齿状为主的自然伽马曲线、值变化大的电阻率曲线与古近系小齿状相对平缓的自然伽马曲线及值较低、变化小的电阻率曲线分界明显(图 7)。

T₈ 地震层序反射特征为中低频、连续强反射，

对应古近系库姆格列木群。T₈ 反射界面相当于古近系底，与下伏层呈明显消截关系，为角度不整合接触。岩性特征上部以中厚-巨厚层状泥质粉砂岩、细砂岩为主，夹薄-中厚层状泥岩、粉砂质泥岩；中部上以薄-中厚层状泥岩、含膏泥岩、膏质泥岩为主，与薄-中厚层状泥质粉砂岩呈略等厚互层，中部下以薄-中厚层状泥岩、含膏泥岩、膏质泥岩为主，夹中厚层状泥膏岩；下部上以中厚、巨厚层状泥质粉砂岩为主，夹薄、中厚层状泥岩、粉砂质泥岩，下为巨厚层状粉砂质泥岩、含膏泥岩夹中厚层状泥膏岩(图 7)。含有蕨类孢子：*Olypodiaesporites*, *Deltoidosproa*, *Sphagnumsporites*, *Polypodiisporites*, *Osmundacidites*；裸子植物花粉：*Abietinaepollenites*, *Pinuspollenites*；被子植物花粉：*Caryapollenites*, *Engelhardtioites*, *Betulaceoipollenites*, *Rhodendron*, *Graminidites*, *Quercoidites*, *Tricolpopollenites* 等^[31]。古近系底部厚层灰白色泥膏岩与下伏侏罗系顶部灰黄色、绿灰色泥岩接触，岩性界限清楚；古近系底部深感应电阻率曲线尖刀状高值、自然伽马曲线槽状低值与下伏侏罗系自然伽马曲线小齿状高值，深感应电阻率曲线小齿状低值，电性分界明显(图 7)。

T₈₋₃ 地震层序相当于侏罗系，可分为上、中、下三套亚层序。下亚层序为低频弱振幅弱连续楔状反

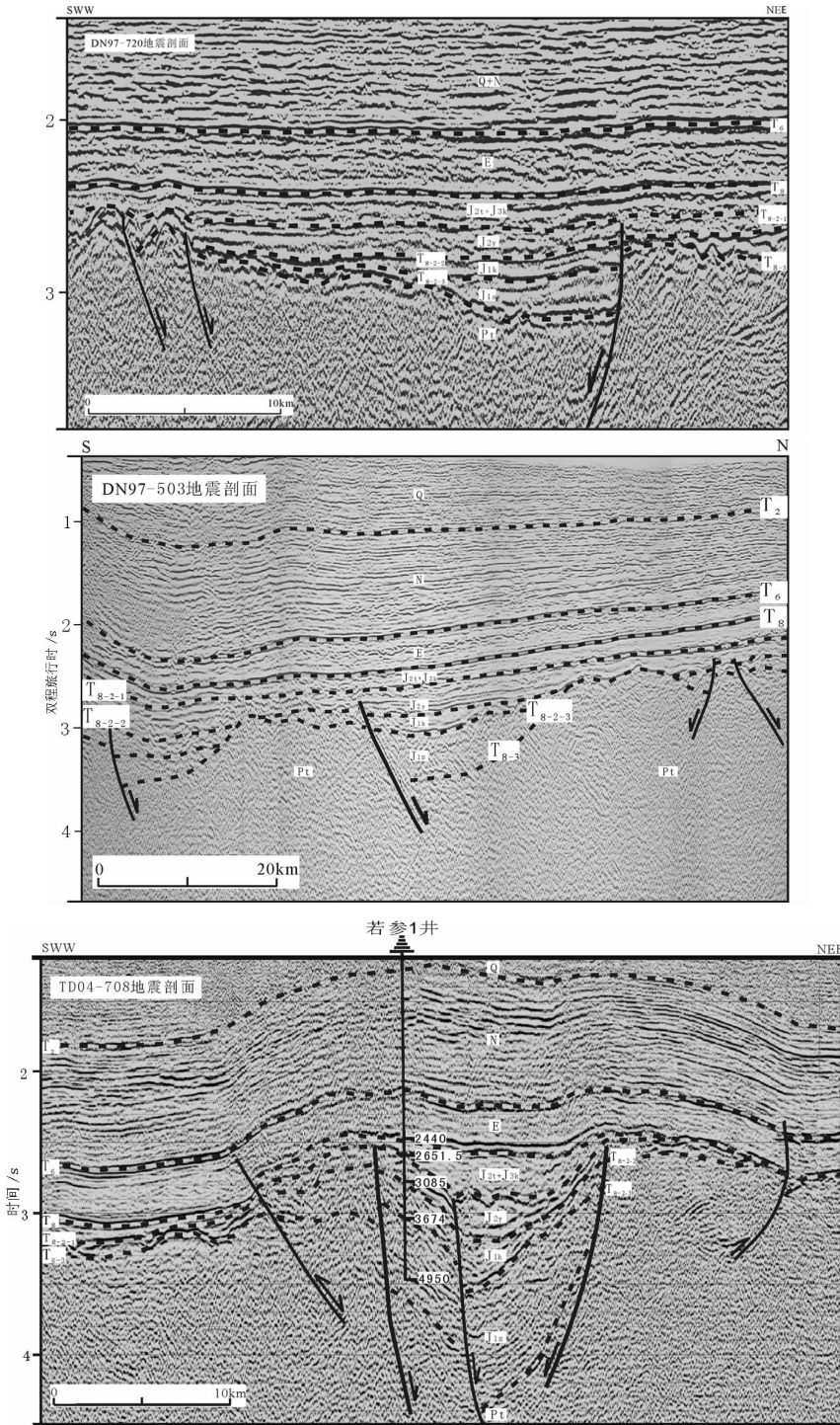


图 5 瓦石峡凹陷地震剖面(测线位置见图 1)

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;J₂+J_{3k}—塔尔尕组-库孜贡苏组;J_{2y}—杨叶组;J_{1k}—康苏组;J_{1s}—沙里塔什组;Pt—前寒武变质基底;T₂—第四系底地震反射界面;T₆—新近系底地震反射界面;T₈—古近系底地震反射界面;T₈₋₂₋₁—塔尔尕组底地震反射界面;T₈₋₂₋₂—杨叶组底地震反射界面;T₈₋₂₋₃—康苏组底地震反射界面;T₈₋₃—侏罗系底地震反射界面

Fig.5 Seismic profile of Washixia Depression(see Fig. 1 for location)

Q—Quaternary; N—Paleogene; E—Neogene; J₂+J_{3k}—Taerga and Kuzigongsu Formation; J_{2y}—Yangye Formation; J_{1k}—Kangsu Formation; J_{1s}—Shalitashen Formation; Pt—Precambrian metamorphic terrain; T₂—Seismic reflection interfaces of Quaternary bottom; T₆—Seismic reflection interfaces of Paleogene bottom; T₈—Seismic reflection interfaces of Neogene bottom; T₈₋₂₋₁—Seismic reflection interfaces of Taerga Formation bottom; T₈₋₂₋₂—Seismic reflection interfaces of Yangye Formation bottom; T₈₋₂₋₃—Seismic reflection interfaces of Kangsu Formation bottom; T₈₋₃—Seismic reflection interfaces of Jurassic bottom

地层系统		岩石地层		钻井分层厚度			地震层号	构造事件	构造演化阶段		
界	系	统	阶	民参1井	民参2井	若参1井			民丰凹陷	瓦石峡凹陷	
新 生 界	第四系	更新统	午城阶	西域组			192.5m	375m	T ₂	喜马拉雅 晚幕	拗陷沉积阶段
			麻则沟阶								隆升剥蚀阶段
		上新统	高庄阶	阿图什组			2267m	823.5m	T ₆	喜马拉雅 早幕	拗陷沉积阶段
			保德阶			3183m	1368m	732.5m			
	通古尔阶	乌恰群									
	山旺阶										
	中新统	谢家阶									
	渐新统	塔本布阶			315m	532.5m	509m	T ₈	燕山事件	隆升剥蚀阶段	
		乌兰布阶									
		蔡家冲阶									
		垣曲阶									
		卢氏阶									
		岭茶阶	库木格列木群								
	始新统	池江阶									
		上潮阶									
古近系	白垩系	大北阶			70m	96.5m	T ₈₋₂	燕山事件	隆升剥蚀阶段		
		待建阶									
	侏罗系	土城子阶	库孜贡苏组		268m	115m	T ₈₋₃	印支事件	隆升剥蚀阶段		
		头屯河阶	塔尔杂组								
		山西窑阶	杨叶组								
	下统	三工河阶			243m	433.5m	T _g	海西事件	拗陷沉积阶段		
		八道湾阶	康苏组								
	三叠系	上统	长兴阶			50m		T _{g2}	加里东事件	古隆起阶段	
			吴家坪阶								
		中统	茅口阶	普司格组		98m	316.5m	T _{g2}	加里东事件	古隆起阶段	
栖霞阶											
下统		隆林阶	克孜里奇曼组		95.5m		T _{g2}	加里东事件	古隆起阶段		
		紫松阶	塔哈奇组								
石炭系	上统	达拉阶	阿孜干组				T _{g2}	加里东事件	古隆起阶段		
	下统	滑石板阶									
寒武-泥盆系											
震旦系											

图6 塔东南隆起地震层序划分与构造演化阶段

Fig.6 Seismic sequence and tectonic evolution stages of the Tadongnan Uplift

射特征,对应于下侏罗统,为灰色、灰绿色大套砾岩夹煤线、细砂岩、粉砂岩与深灰色粉砂质泥岩、泥岩、暗色炭质泥岩及煤系地层的反映,含有植物: *Cladophlebis suluktensis*, *Podozamites* sp., *Neocalamites* sp.等,孢粉: *Beltodospora* sp., *Baculatisporites comaumensis*, *Lycopodiumsporites* sp., *Classopollis classoides*, *Classopollis annulatus*, *Quadraeculina limbata*, *Q.* sp.等^[31]。中亚层序高频强振幅较连续反射,为中侏罗统杨叶组红色砂

砾岩、砾状砂岩、细砂岩、粉砂岩与深灰色粉砂质泥岩、泥岩、炭质泥岩地层反映,含有丰富的叶肢介、瓣鳃类和双壳类等化石^[7],植物化石有 *Neocalamites* sp., *Sphenobaiera* ? sp. ^[31]。上亚层序为低频空白反射,由盆缘向盆地内部减薄,中上侏罗统塔尔杂组和库孜贡苏组红色地层反映,岩性主要为灰绿色中层状钙质和泥质岩屑砂岩与褐红色、紫红色砂砾岩为主夹褐红色粗砂岩和紫红色泥岩。T₈₋₃地震反射界面为侏

罗系底,在瓦石峡凹陷侏罗系与基底呈超覆接触关系;民丰凹陷侏罗系与下伏下二叠统—上石炭统塔哈奇组呈角度不整合接触,侏罗系岩性和电性特征与下伏海相石炭系—二叠系岩性和电性特征有明显的区别(图7)。

T_{g2} 地震层序为低频弱振幅弱连续反射,相当于下二叠统—上石炭统, T_{g2} 地震反射界面为下二叠统—上石炭统底,与元古宇变质基底不整合接触。根据民参1井和2井钻遇的岩性特征,结合电性组合特征将其分为上、下两个岩性段。下岩性段以中厚、巨厚层状泥质条带灰岩、灰岩、生屑灰岩为主,夹薄—厚层状泥岩、炭质泥岩,为浅海相沉积。上岩性段为河道—浅海相沉积,以薄层—厚层状泥岩、粉砂质泥岩、灰质泥岩为主,与薄—巨厚层状泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、含砾细砂岩、含砾中砂岩、含砾粗砂岩、砂砾岩、小砾岩呈不等厚互层,夹薄层状砂质灰岩及中厚层状泥灰岩。富含昆虫 *Climacamina* sp., *Globivalvulina graeca*, *Gl.granulose*, *Glomaspira regularis*, *Multidiscus* sp. 等、瓣类 *Pseudofusulina* sp., *Eoparafusulina* sp., *Triticites* sp., *Boultonia truncata* 等、牙形类 *Anchignathodus minutus*, *Hindeodella* sp., *Lonchodina* sp., *Streptognathodus gracilis* 等、腕足类 *Choristites cf. supraosquensis*, *Eliva* sp., *Martinia* sp., *Antiquatonia taiyuanfuensis*, *Avonia* sp. 等及少量介形类 *Healdia* sp., *Paraparchites cf. luoyangensis* 等^[31]。下二叠统—上石炭统底部为绿灰色砂泥岩与下伏元古宇变质岩岩性分界明显;底部深感应电阻率曲线小尖齿状低值、自然伽马曲线小齿状低值与下伏元古宇高电阻率、高伽马曲线分界明显(图7)。

3 剖面复原与构造演化阶段

3.1 剖面复原

依据平衡剖面恢复遵循长度、面积和体积守恒原理以及垂直构造带走向选剖面原则,在本区选择2条南北向地震剖面与1条近东西向区域大剖面,精细解释与时深转换,运用2D Move软件,采用半定量估算伸展与缩短率,对3条剖面进行恢复不同时期沉积凹陷的构造形态特征。A-B剖面由6条剖面连接而成,可以恢复侏罗纪断陷盆地的原形特征和后期改造过程。按照构造层序从新到老逐层恢复构造发育史和沉积特征分析,结合区域构造和动力特征,将本区构造演化划分为前侏罗纪、侏罗纪—白垩纪和新生代3个演化时期(图8,9)。

3.2 前侏罗纪构造演化

塔东南隆起前侏罗纪经历了加里东、海西印支构造运动的叠加与改造,仅在民丰凹陷残留上石炭—下二叠统。根据地震剖面MF03-272复原结果,民丰凹陷以压性构造变形为主,发育北倾逆冲断裂和南倾正断裂,伸展作用可能与断裂走滑活动有关(图8)。通过对安1井TM196-37地震剖面层位标定和精细解释(图2),表明车尔臣前锋逆冲断层被石炭系覆盖,车尔臣断裂下盘的寒武—奥陶系没有向南超覆减薄现象,因此推测塔东南隆起可能是晚加里东运动形成的前陆冲断推覆体。塔东南隆起加里东前陆冲断推覆构造带的形成是南阿尔金洋盆向北俯冲、塔里木板块与中阿尔金微陆块(古岛弧)和柴达木地块碰撞的结果^[32-34]。

志留纪—早石炭世继续冲断隆升,塔东隆起缺失寒武系—早石炭统形成断隆。晚石炭世塔东南隆起受到南天山洋由东至西剪刀式闭合陆—陆碰撞造山的影响^[35],民丰地区处于挤压状态,从西向东发生海侵,发育开阔台地相沉积,且末—罗布庄地区处于隆升状态。晚石炭世—晚三叠世,民丰凹陷与塔西南可能同属一个沉积域,在塔西南杜瓦剖面的上二叠统上部发现了三叠纪孢粉组合^[36],表明三叠系与二叠系为连续沉积,三叠系的沉积类型继承了晚二叠世早期沉积类型,属于河湖相沉积。由过安1井TM19637地震剖面可见车尔臣断裂下盘石炭系—三叠系没有出现向南超覆和厚度减薄尖灭现象,推断民丰地区也沉积该套地层,而且末至罗布庄地带可能持续处于隆起缺失晚石炭世—晚三叠世地层。受到晚三叠世羌塘地块与欧亚大陆碰撞影响^[37-40],塔东南大规模隆升和地层剥蚀,仅在民丰地区残留上石炭统和下二叠统,形成西凹东凸的构造格局(民丰凹陷,且末—瓦石峡—罗布庄凸起)(图9)。

3.3 侏罗纪—白垩纪沉积构造演化阶段

侏罗纪—白垩纪是塔东南隆起重要的演化时期,经历了早侏罗世断陷、中侏罗世拗陷和晚侏罗世—白垩纪断陷萎缩等3个阶段。

从地震剖面拉平复原结果可以看出(图8,9),瓦石峡凹陷在早侏罗世处于NWW—SEE向伸展,形成NNE向半地堑和半地垒组合构造,根据A-B和DN97-503剖面恢复得到的伸展率分别为26%、16%。NWW向伸展作用控制早侏罗世的沉积和沉降,最大沉积速率达34 m/Ma。在断陷早期,主要发

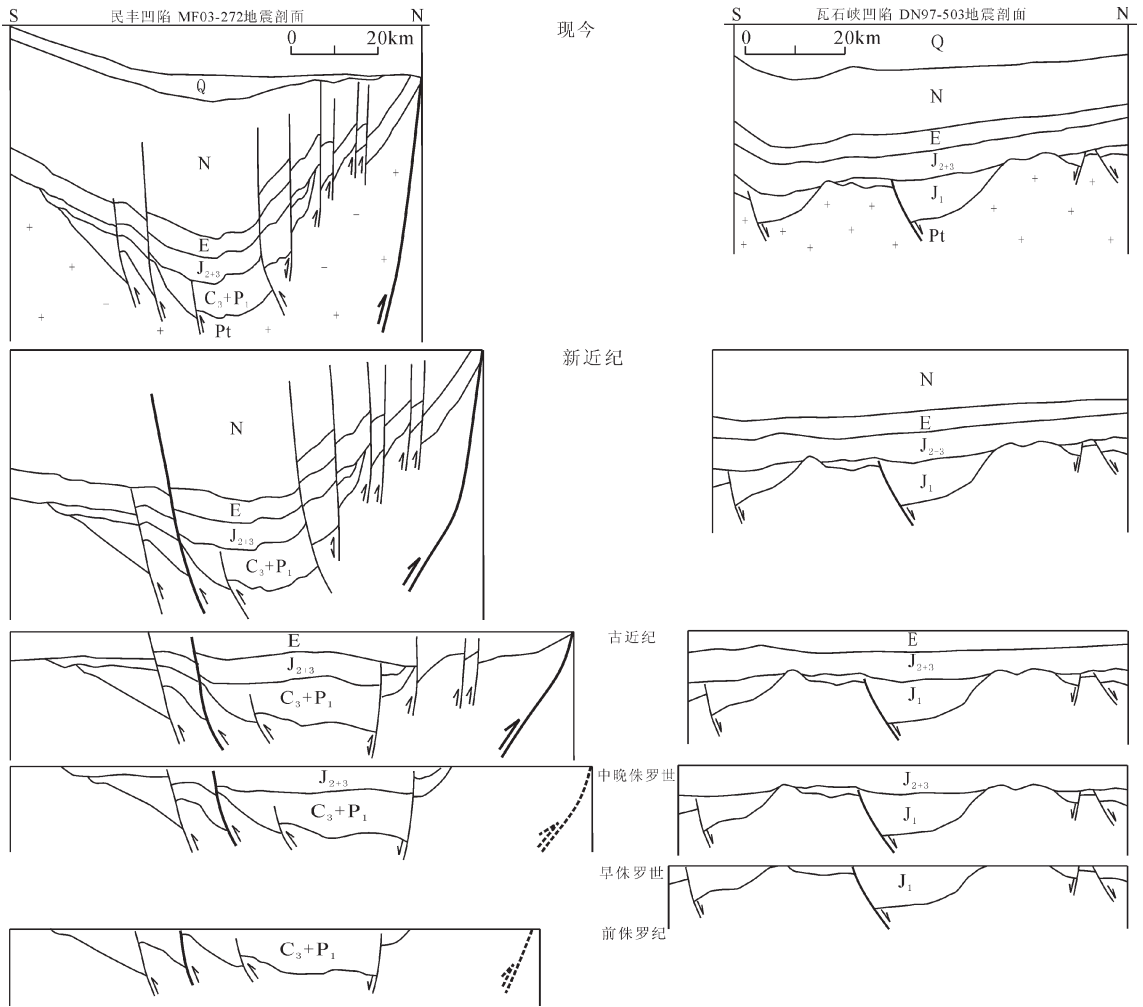


图 8 地震剖面层拉平复原展示塔东南隆起民丰凹陷和瓦石峡凹陷的构造演化历史

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;J₂₊₃—中、上侏罗统;J₁—下侏罗统;C₃+P₁—上石炭统—下二叠统;Pt—前寒武变质基底

Fig.8 Seismic section restoration, showing tectonic evolution history of Minfeng and Washixia depressions in the Tadongnan Uplift

Q—Quaternary; N—Paleogene; E—Neogene; J₂₊₃—Middle and Upper Jurassic; J₁—Lower Jurassic; C₃+P₁—Upper Carboniferous—Lower Permian; Pt—Precambrian metamorphic terrain

育较小范围的小型冲积扇-河流相沉积, 冲积扇岩性结构特征主要为次圆-次棱角状,分选差,砾间为粗砂、泥质充填,河流相发育大型的下截型板状交错层理、平行层理及冲刷侵蚀构造^[1]。随着断裂活动的逐渐加强,构造沉降幅度也逐渐加大,断裂两侧地形差异明显,可容纳空间迅速增加,突发性洪水事件成为主要的沉积驱动力,由小型冲积扇逐步形成大型的冲积扇沉积,陡坡以近物源低水位体系域的冲积扇-扇三角洲相堆积,缓坡以远离物源形成以砂岩为主夹砾岩的辫状河三角洲沉积。断陷中、晚期

(早侏罗世沙里塔什中晚期—康苏期),断裂活动减弱,构造沉降幅度减小,水域扩张,水体变深,从盆地边缘向断陷中心沉积体系依次演化为冲积扇→河流→三角洲→滨浅湖→半-深湖相沉积组合,岩性剖面上构成向上变细沉积序列(图 7)。早侏罗世伸展断陷作用可能是对羌塘地块与欧亚大陆碰撞的响应,是阿尔金断裂系走滑拉分作用的结果。

中侏罗世时期,构造变形较弱,盆底地形平缓,边缘通常不具备明显的沉积坡折,沉积范围扩展到最大(图 9),沉积厚度稳定在 500 m 左右(图 7)。剖

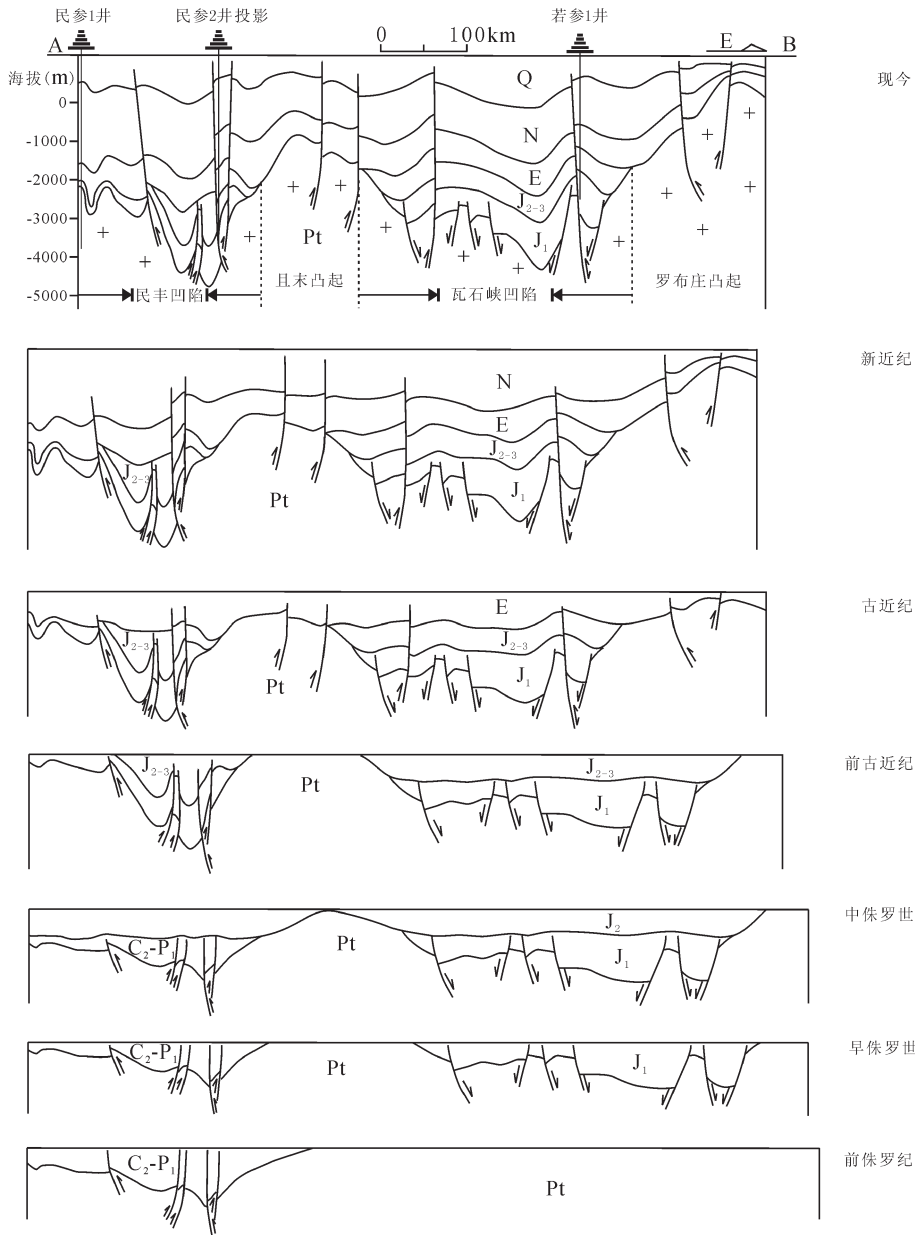


图9 塔东南隆起近 W-E 向构造剖面复原及其演化历史
 Q—第四系;N—新近系;E—古近系;J₂₊₃—中、上侏罗统;J₁—下侏罗统;
 C₂-P₁—上石炭统-下二叠统;Pt—前寒武变质基底

Fig.9 Approximately WE-trending structural section restoration and tectonic evolution history of the Tadongnan Uplift

Q—Quaternary; N—Paleogene; E—Neogene; J₂₊₃—Middle and Upper Jurassic; J₁—Lower Jurassic;
 C₃-P₁—Upper Carboniferous—Lower Permian; Pt—Precambrian metamorphic terrain

面拉平恢复结果显示 A-B 剖面伸展率约 1.3%, 表明塔东南隆起在此阶段伸展活动逐渐减弱, 进入拗陷演化阶段, 以构造沉降为主。在民丰和瓦石峡凹陷内, 发育中侏罗世滨浅湖相粗碎屑沉积, 常见水平层理、交错层理及波状层理波状层理等共生^[11]。若参1

井揭示瓦石峡凹陷杨叶组为还原环境下的沼泽化浅湖相含煤砂砾岩与泥岩、炭质泥岩交互沉积, 而民参2井证实民丰凹陷的杨叶组为弱氧化、还原环境下的滨-浅湖相含煤砂岩与泥岩交互沉积。两个凹陷所沉积的塔尔孜组均为弱氧化-还原环境下浅湖-滨

湖相沉积。平面上由凹陷边缘向中心,沉积相由冲积平原→沼泽→滨浅湖相变化,剖面上构成自下而上砂岩与泥岩多旋回的沉积序列。

晚侏罗世的沉积特征总体上广泛发育半干旱、干旱氧化环境的冲积平原和河流相的红色砂砾岩(图7)。早白垩世的沉积面貌总体上继承了晚侏罗世的特征,出露于且末至若羌间阿尔金山前地区主要是红色碎屑岩。分布于且末县东南的江格萨依剖面岩性为棕红色砂岩和粉砂岩,夹少量灰绿色砂岩和砂岩条带,底部为灰色砾岩,与下伏上侏罗统呈不整合接触^[3]。由 A-B、MF03-272 和 DN97-503 剖面拉平复原得到该时期缩短率分别约为 19%、10%、7%,显示出民丰凹陷以挤压褶皱变形为主,瓦石峡凹陷挤压变形相对较弱。从动力学角度分析,晚侏罗世到早白垩世受到拉萨地体与羌塘板块碰撞影响^[41-42],构造挤压应力向北传递,使塔东南隆起由伸展转换为挤压应力场,发生构造反转。晚白垩世时期受到阿尔金地块构造抬升事件的影响^[43],使塔东南隆起经历了大规模构造挤压隆升,波及范围广,延续时间较长,导致塔东南地区普遍缺失上白垩统沉积且下伏地层被剥蚀,形成两凹两凸构造格局,在且末和罗布庄凸起古近系直接覆盖在基底之上,民丰和瓦石峡凹陷古近系与下伏上侏罗统库孜贡组呈不整合接触。

3.3 新生代构造演化

新生代构造演化分两拗两隆 4 个演化阶段。古新世—早始新世挤压拗陷沉积阶段、始新世末—早渐新世挤压隆升剥蚀、中新世—早上新世挤压拗陷沉积、上新世末—早更新世隆升剥蚀以及中晚更新世—全新世挤压拗陷沉积阶段。

在白垩纪末期剥蚀、均夷的基础上塔东南隆起进入古新世—早始新世初始挤压拗陷沉积阶段,在民丰凹陷变形强烈发育两组南倾和北倾的背冲断裂构造,而瓦石峡凹陷构造变形较弱(图8)。整体沉积了厚度约为 500 m 的古近系库姆格列木群,与下伏地层呈角度不整合接触,地震剖面上对应于 T_8 反射界面;与上覆地层不整合接触,顶部缺失部分地层(图 2,6,5)。瓦石峡凹陷以强氧化环境下冲积平原沉积为主;民丰凹陷为氧化环境下沉积的盐湖—冲积平原相沉积(图7)。

从 MF03-272 和 DN97-503 剖面平衡恢复得到古近系民丰凹陷缩短变形约 21%, 凹陷北翼构造变形强烈,南翼构造平缓,南倾断裂继续逆冲同时也

形成反冲断裂。瓦石峡凹陷缩短约 9%, 挤压变形较弱,以褶皱变形为主,表明在始新世—渐新世初处于挤压隆升阶段(图8)。这个阶段印度板块与亚洲板块发生碰撞^[44-47],为水平动力学挤压碰撞模式(岩石圈面对面碰撞接触)^[48],制约和影响着塔里木盆地的隆升,使塔东南发生新生代初次隆升剥蚀夷平事件,也和阿尔金山初次隆升时间一致^[21]。此隆升事件导致该区缺失部分古近系库姆格列木群,形成喜山早幕区域角度不整合面(T_6 反射界面)。

新生代初次隆升后,进入中新世—早上新世挤压拗陷沉积阶段,沉积了乌恰群和阿图什组。东部以氧化环境下冲积平原—河流相沉积为主,西部以弱还原—氧化环境下沉积的浅湖—河流相沉积为主(图6~8)。

喜山晚幕主要以挤压褶皱变形为主。民丰凹陷两翼比较对称,褶皱变形较强,缩短率约为 13%。瓦石峡凹陷褶皱变形较弱,南翼较陡,北翼较缓,缩短率约为 7%(图8)。动力来源是上新世末—早更新世受到印度板块与欧亚大陆的持续碰撞作用,使塔东南地区再度处于挤压隆升阶段,且与青藏高原同步隆升^[19,49]。该区遭受了强烈的挤压隆升作用之后,形成喜山晚幕区域不整合面,地震剖面上对应于 T_2 反射界面(图2,5,6)。更新世—全新世进入挤压拗陷阶段,沉积了一套洪积相砂砾岩,与下伏阿图什组呈角度不整合接触(图2,5,8)。

4 结论

基于地震剖面、岩心、测井和露头等资料的综合分析,运用剖面拉平恢复技术,将塔东南隆起构造历史分为前侏罗纪、侏罗—白垩纪和新生代 3 个演化阶段。在地震剖面上识别出 6 个地层不整合面,指示塔东南隆起经历了加里东、海西、印支、燕山和喜山等多次构造运动。塔东南隆起形成于晚奥陶世的加里东运动,经印支构造运动的叠加改造,形成了西凹东凸的构造格局。

受到拉萨地体与羌塘板块碰撞的影响和阿尔金断裂、车尔臣河断裂的走滑运动的控制,塔东南隆起侏罗纪—白垩纪断陷盆地形成经历了早侏罗世断陷、中侏罗世拗陷和晚侏罗世—白垩纪萎缩等 3 个演化阶段。瓦石峡凹陷早侏罗世伸展率约 26%,最大沉积速率达 34 m/Ma。中侏罗世拗陷阶段构造变形较弱,伸展率仅 1.3%,沉积范围扩展到最大,沉积厚

度稳定在 500 m 左右。晚侏罗世—白垩纪盆地萎缩阶段缩短率在 7%~10%, 广泛发育半干旱、干旱氧化环境的冲积平原和河流相的红色砂砾岩。

新生代喜山运动阶段, 塔东南隆起遭受强烈挤压改造, 形成两拗两隆的构造格局, 经历了古新世—早始新世挤压拗陷沉积阶段、始新世末—早渐新世挤压隆升剥蚀阶段、中新世—早上新世挤压拗陷沉积阶段、上新世末—早更新世隆升剥蚀阶段, 以及中—晚更新世—全新世挤压拗陷沉积阶段。

参考文献 (References):

- [1] 潘正中, 郭群英, 王步清, 等. 塔东南地区构造单元划分新方案[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6):781-783.
Pan Zhengzhong, Guo Qunying, Wang Buqing, et al. A discussion on division of tectonic units of southeastern Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6):781-783 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张斌, 肖中尧, 吴英, 等. 塔里木盆地东南地区若参 1 井天然气成因初探[J]. 天然气地球化学, 2006, 17(4):586-589.
Zhang Bin, Xiao Zhongyao, Wu Ying, et al. Elementary research of natural gas origin in Ruocan 1 well, southeast of Tarim basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17 (4): 586-589 (in Chinese with English abstract).
- [3] 蒲仁海. 塔东南拗陷侏罗系沉积相的确定[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1994, 24(6):547-550.
Pu Renhai. The defining of Jurassic depositional facies of the southeast Tarim Basin [J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 1994, 24 (6):547-550 (in Chinese with English abstract).
- [4] 蒲仁海, 车自成, 任战利. 塔里木盆地东南部构造特征与油气远景[J]. 石油实验地质, 1995, 17(3):249-258, 264.
Pu Renhai, Che Zicheng, Ren Zhanli. Tectonic characteristics and hydrocarbon prospects of southeast Tarim basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1995, 17 (3):249-258, 264 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈荣林, 胡民. 塔里木盆地东南断陷区侏罗系含油砂岩的发现及油源研究[J]. 科学通报, 1996, 41(18):1685-1688.
Chen Ronglin, Hu Min. Findings of Jurassic oil-bearing sandstone and study on oil source in the Dongnan rift zone of Tarim basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(18):1685-1688(in Chinese).
- [6] 李文厚. 塔里木东南断陷区侏罗系沉积体系及油田意义 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2):110-115.
Li Wenhui. Jurassic sedimentary system of fault depression in southeast Tarim and its hydrocarbon significance [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2):110-115 (in Chinese with English abstract).
- [7] 周琦, 王建国, 杜鸿烈. 塔东南拗陷侏罗系层序地层分析与油气前景[J]. 沉积学报, 2000, 18(4):580-584.
Zhou Qi, Wang Jianguo, Du Honglie. Study of sequence stratigraphy in Mesozoic southeast Tarim foreland basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (4):580-584 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王建国, 王林风, 周琦. 塔里木盆地东南地区侏罗系油气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3):259-263, 267
Wang Jianguo, Wang Linfeng, Zhou Qi. Prospects of Jurassic hydrocarbon exploration in southeast Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21 (3): 259-263, 267 (in Chinese with English abstract).
- [9] 温声明, 丁长辉, 刘兴晓, 等. 塔里木盆地塔东南地区构造特征[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(增刊):19-24.
Wen Shengming, Ding Changhui, Liu Xingxiao, et al. Structural characteristics of Tadongnan zone of Tarim basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(supplement): 19-24 (in Chinese).
- [10] 丁长辉, 单玄龙, 王凤俊, 等. 塔里木盆地东南侏罗纪断陷盆地形成机理及演化分析[J]. 新疆地质, 2007, 25(1):81-86.
Ding Changhui, Shan Xuanlong, Wang Fengjun, et al. The analysis on the mechanism of the formation of Jurassic faulted basin and its evolution in the Southeast region of Tarim basin [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(1):81-86 (in Chinese with English abstract).
- [11] 程晓敢, 廖林, 陈新安, 等. 塔里木盆地东南缘侏罗纪沉积相特征与古环境再造[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(4):519-525.
Cheng Xiaogan, Liao Lin, Chen Xinan, et al. Jurassic sedimentary facies and paleoenvironmental reconstruction of southeastern Tarim basin, Northwestern China [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37 (4): 519-525 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王步清, 潘正中, 郭群英, 等. 塔东南构造演化 and 上新世以来的构造格架[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6):704-706.
Wang Buqing, Pan Zhengzhong, Guo Qunying, et al. Structural evolution and structural framework since Pliocene in Southeast Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6):704-706 (in Chinese with English abstract).
- [13] 伍跃中, 王战, 陈守建, 等. 阿尔金山南缘断裂带的分段特征及其构造演化[J]. 地质学报, 2008, 82(9):1195-1209.
Wu Yuezhong, Wang Zhan, Chen Shoujian, et al. Segmentation and zonation characteristics of South Altun border fault and its tectonic evolution [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (9): 1195-1209 (in Chinese with English abstract).
- [14] 周勇, 潘裕生. 茫崖—肃北段阿尔金山断裂右旋走滑运动的确定[J]. 地质科学, 1998, 33(1): 9-16.
Zhou Yong, Pan Yusheng. Determination of the dextral slip of Mangya-Subei segment of Altun fault [J]. Chinese Jour. Geol. (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1998, 33 (1): 9-16 (in Chinese with English abstract).
- [15] 周勇, 潘裕生. 阿尔金山断裂早期走滑运动方向及其活动时间探讨[J]. 地质论评, 1999, 45(1):1-9.
Zhou Yong, Pan Yusheng. The initial shear sense of the Altun fault and its timing[J]. Geological Review, 1999, 45(1): 1-9 (in Chinese with English abstract).

- [18] 于海峰, 陆松年, 赵凤清, 等. 古阿尔金断裂的岩石构造依据及意义[J]. 前寒武纪研究进展, 1998, 21(4): 10-15.
Yu Haifeng, Lu Songnian, Zhao Fengqing, et al. Litho-structural evidences of ancient Altun Tagh and its significance [J]. Progress in Precambrian Research, 1998, 21 (4): 10-15 (in Chinese with English abstract).
- [19] 刘永江, 葛肖虹, 叶慧文, 等. 晚中生代以来阿尔金断裂的走滑模式[J]. 地球学报, 2001, 22(1): 23-28.
Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, Ye Huiwen, et al. Strike-slip model for Altun Tagh Fault developed since Late Mesozoic [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22 (1):23-28 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘永江, 葛肖虹, Genser J, 等. 阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(12): 1335-1341.
Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, Genser J, et al. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ age evidence for Altun fault tectonic activities in western China [J]. Chinese Sci. Bull., 2003, 48(18): 2024-2030 (in Chinese).
- [21] 刘永江, Franz Neubauer, 袁四化, 等. 阿尔金断裂带年代学和阿尔金山隆升[J]. 地质科学, 2007, 42(1):134-146.
Liu Yongjiang, Franz Neubauer, Ge Xiaohong, et al. Geochronology of the Altun fault zone and rising of the Altun Mountains [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1):134-146 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张岳桥, 陈正乐, 杨农. 阿尔金断裂晚新生代左旋走滑位错的地质新证据[J]. 现代地质, 2001, 15(1):8-12.
Zhang Yueqiao, Chen Zhengle, Yang Nong. New geological evidence for Late Cenozoic left-lateral displacement along the Altun Tagh Fault [J]. Geology, 2001, 15(1):8-12 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈正乐, 张岳桥, 王小凤, 等. 新生代阿尔金山脉隆升历史的裂变径迹证据[J]. 地球学报, 2001, 22(5):413-418.
Chen Zhengle, Zhang Yueqiao, Wang Xiaofeng, et al. Fission track dating of Apatite constrains on Cenozoic uplift of the Altun Tagh Mountain [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22 (5):413-418 (in Chinese with English abstract).
- [24] 陈宣华, 尹安, Gehrels G E, 等. 青藏高原北缘中生代伸展构造 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年和 MDD 模拟[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 305-310.
Chen Xuanhua, Yin An, Gehrels G E, et al. Mesozoic extension in northern Tibetan plateau: $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ analyses and MDD modeling [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4): 305-310 (in Chinese with English abstract).
- [25] 魏顺民, 向宏发. 阿尔金构造系渐新世-中新世以来断裂左旋位错时空分布规律研究[J]. 地震地质, 1998, 20(1): 9-18.
Guo Shunmin, Xiang Hongfa. A study on spatial-temporal distribution of the fault sinistral displacement in the Altun structure system since Oligocene-Miocene [J]. Seismology and Geology, 1998, 20(1): 9-18 (in Chinese with English abstract).
- [26] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J]. 中国地质, 2002, 29(4):346-350.
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. Geology in China, 2002, 29(4):346-350 (in Chinese with English abstract).
- [27] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 阿尔金断裂系的组成及相关中生代含油气盆地的成因特征[J]. 中国区域地质, 1998, 17(4): 377-384.
Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, et al. The constituents of the Altun fault system and genetic characteristics of related Mesozoic petroleum-bearing basin [J]. Regional Geology of China, 1998, 17(4): 377-384 (in Chinese with English abstract).
- [28] Zhang J, Zhang Z, Xu Z, et al. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altun Tagh, Northwestern China [J]. Lithos, 2001, 56(2/3):187-206.
- [29] Gehrels G E, Yin A, Wang X F. Detrital-Zircon Geochronology of the Northeastern Tibetan Plateau [J]. Geol. Soc. Amer. Bull, 2003, 115(7):881-896.
- [30] Sobel E R, Arnaud N, Jolivet M, et al. Jurassic to Cenozoic Exhumation history of the Altun Tagh Range, Northwest China, constrained by $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ and apatite fission track thermochronology. in: Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: from Continental Assembly to Intracontinental Deformation [J]. Geological Society of America Memoir, 2001, 194: 247-267.
- [31] Ritts B D, Biffi U. Magnitude of Post-Middle Jurassic (Bajocian) displacement on the central Altun Tagh fault system, Northwest China [J]. Geol. Soc. Amer. Bull, 2000, 112(1): 61-74.
- [32] Meng Q R, Hu J M, Yang F Z. Timing and magnitude of displacement on the Altun Tagh fault: constraints from stratigraphic correlation of adjoining Tarim and Qaidam Basins, NW China [J]. Terra Nova, 2001, 13(2):86-91.
- [33] 贾承造, 张师本, 吴绍祖, 等. 塔里木盆地及周边地层[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 340-342.
Jia Chengzhao, Zhang Shibin, Wu Shaozu, et al. Stratigraphy of the Tarim Basin and Adjacent Areas [M]. Beijing: Science Press, 2004: 340-342 (in Chinese with English abstract).
- [34] 张传林, 陆松年, 于海峰, 等. 青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(2):145-154.
Zhang Chuanlin, Lu Songnian, Yu Haifeng, et al. Tectonic evolution of structural zone in the northern margin of Tibetan plateau: evidence of dating from SHRIMP and LA-ICP-MS [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(2): 145-154 (in Chinese).
- [35] 覃小锋, 李江, 陆济璞, 等. 阿尔金碰撞造山带西段的构造特征[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2):104-112.
Qin Xiaofeng, Li Jiang, Lu Jipu, et al. Tectonic evolution of the western segment of the Altun Tagh collisional orogen, Northwest China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (1/2): 104-112 (in Chinese with English abstract).
- [36] 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 等. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义[J]. 地质学报, 2004, 78(6):733-743.
Xu Zhiqin, Qi Xuexiang, Liu Fulai, et al. The Kangxiwa Caledonian

- khondalite series in West Kunlun, China, and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78 (6): 733-743 (in Chinese with English abstract).
- [35] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1049-1061.
Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. South Tianshan: a Late Paleozoic or a Triassic orogen? [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1049-1061 (in Chinese with English abstract).
- [36] 杨品, 丁跃潮. 塔里木盆地杜瓦剖面二叠-三叠系界限及其特征 [J]. *新疆石油地质*, 1996, 17(3): 255-259.
Yang Pin, Ding Yuechao. Boundary of Permian-Triassic on Duwa section and its characteristics in the Tarim basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1996, 17(3): 255-259 (in Chinese).
- [37] 赵冬冬, 陈汉林, 杨树锋, 等. 西昆仑甜水海地区前陆褶皱冲断带的构造样式及其演化 [J]. *地质学报*, 2000, 74(2): 134-141.
Zhao Dongdong, Chen Hanling, Yang Shufeng, et al. Structural styles of the foreland fold and thrust belt in the Tianshuihai area, western Kunlun, and its tectonic evolution [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 134-141 (in Chinese with English abstract).
- [38] 贾承造, 杨树锋, 陈汉林, 等. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1-16, 136-143.
Jia Chengzao, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. *Structural Geology and Natural Gas in the Northern Margin Basin Group* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-16, 136-143 (in Chinese).
- [39] 杨树锋, 贾承造, 陈汉林, 等. 特提斯构造带的演化和北缘盆地群形成及塔里木天然气勘探远景 [J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊): 36-43.
Yang Shufeng, Jia Chengzao, Chen Hanlin, et al. Evolution of the Tethys tectonic zone, formation of the northern margin basin group and exploration prospect of natural gas in the Tarim basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(supp.): 36-43 (in Chinese).
- [40] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Arc-ophiolite obduction in the western of Kunlun range (China): implications for the palaeozoic evolution of central Asia [J]. *Jour Geol. Soc, London*, 2002, 159: 517-528.
- [41] 刘训, 肖序常, 等. 中国新疆南部(青藏高原北缘)盆山构造格局的演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 273-282.
Liu Xun, Xiao Xuchang, et al. Evolution of Basin-Mountain Tectonic Framework in Southern Xinjiang, China (Northern Margin of Qinghai-Tibet Plateau) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 273-282 (in Chinese with English abstract).
- [42] 贾承造, 魏国齐, 李本亮. 中国中西部燕山期构造特征及其油气地质意义 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 9-15.
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang. Yanshanian tectonic features in West-Central China and their petroleum geological significance [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(1): 9-15 (in Chinese with English abstract).
- [43] 中国地质调查局. 阿尔金-昆仑山地区区域地质调查成果与进展 [J]. *地质通报*, 2004, 23(1): 28-96.
China Geology Survey. Survey results and progress of regional geology in the Altun-Kunlun mountains areas [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(1): 28-96 (in Chinese).
- [44] McKenzie D P, Sclater J G. The evolution of the Indian Ocean since the Late Cretaceous [J]. *Geophys. Jour. R. Soc.*, 1971, 24: 437-528.
- [45] Patriat P, Achache J. The chronology of the India-Eurasia collision: implications for crustal shortening and the driving mechanism of plates [J]. *Nature*, 1984, 311: 615-621.
- [46] Rowley D B. Age of initiation of collision between India and Asia: a review of stratigraphic data [J]. *Earth and Planetary Science Letters*. 1996, 145: 1-13.
- [47] 丁道桂, 罗月明. 帕米尔地区碰撞构造与塔里木盆地的改造 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 57-64, 77.
Ding Daogui, Luo Yueming. Collision structures in Pamir region and reformation of Tarim basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(1): 57-64, 77 (in Chinese with English abstract).
- [48] 肖序常, 刘训, 高锐, 等. 西昆仑及邻区岩石圈结构构造演化-塔里木南-西昆仑多学科地学断面简要报道 [J]. *地质通报*, 2002, 21(2): 63-68.
Xiao Xuchang, Liu Xun, Gao Rui, et al. Lithospheric structure and tectonic evolution of the west Kunlun and its adjacent areas-brief report on the south Tarim-west Kunlun multidisciplinary geoscience transect [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(2): 63-68 (in Chinese with English abstract).
- [49] 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 等. 中华人民共和国地质矿产部·地质专报(五)构造地质·地质力学, 第 9 号青藏高原新生代构造演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-190.
Pan Guitang, Wang Peisheng, Xu Yaorong, et al. People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources Geological Memoirs Series 5 Number 9 Cenozoic Tectonic Evolution of Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 1-190 (in Chinese with English abstract).

Sedimentary-structural characteristics and tectonic evolution history of the Tadongnan Uplift

XU Huai-zhi¹, ZHANG Yue-qiao², LIU Xing-xiao³, ZHOU Cheng-gang³, XU Jian-hua³

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 3. Institute of Korla, BGP, CNPC, Korla 841001, Xinjiang, China)

Abstract: Based on an analysis of data obtained from seismic profiles, cores, loggings and outcrops, and using the balanced section technology, this paper deals with structural-sedimentary characteristics and tectonic evolution history of the Tadongnan uplift belt in Tarim basin since Paleozoic. Six unconformities were identified on seismic profiles and, on such a basis, five major tectonic sequences were recognized. The Tadongnan Uplift was initially formed in Late Ordovician and experienced Caledonian, Hercynian, Indosinian, Yanshanian and Himalayan movements. Intra-continental deformation took place predominantly during the Mesozoic, with the extensional faulting controlled by two principal boundary faults respectively on the south and on the north. In Early Mesozoic and later, the Tadongnan Uplift experienced serious compressional reformation, thus forming the tectonic framework characterized by two depressions and two uplifts as seen at present.

Key words: seismic sequence; sedimentary-structural characteristics; tectonic evolution history; balanced section; Tadongnan Uplift; Tarim Basin

About the first author: XU Huai-zhi, male, born in 1976, master and engineer, mainly engages in the study of structural geology and basin analysis; E-mail: xhzlq2008@163.com.

About the corresponding author: ZHANG Yue-qiao, male, born in 1963, professor and supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of structural geology, tectonics, neotectonics and basin analysis; E-mail: yueqiao-zhang@sohu.com.