

塔北隆起古生代构造样式和构造反演

程海艳 李江海 赵 星

(北京大学地球与空间科学学院,造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京 100871)

摘要:塔北隆起是塔里木盆地的主要含油气区,笔者利用地震剖面解释和平衡剖面技术对塔北隆起构造变形和构造演化进行了研究。塔北隆起构造变形存在明显的构造差异,西部英买力地区主要发育盖层滑脱式逆冲断层褶皱和“y”型压扭断层,而其东部主要发育基底卷入式逆断层及断层传播褶皱和反冲断层构造。造成塔北隆起东、西构造样式差异的机理主要有两点:一是东部地区对震旦纪—早奥陶世正断层在后期挤压作用下反转,二是英买力地区中寒武统盐层的发育。塔北隆起地区古生代构造演化也存在着一定的差异,塔北隆起东部震旦纪—早奥陶世发育大型正断层构造,而英买力地区为稳定碳酸盐岩台地;晚奥陶世至泥盆纪,塔北隆起东部牙哈断层发生反转,轮台凸起隆升,而英买力地区位于隆起的斜坡部位;石炭纪至二叠纪,塔北隆起东部大规模抬升,剥蚀严重,出露变质基底,英买力地区接受强烈的变形作用,主要发育盖层滑脱式逆断层和褶皱构造。

关键词:塔北隆起;构造差异;构造演化;盖层滑脱构造;基底卷入构造

中图分类号:P542+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)02-0314-08

塔北隆起位于库车坳陷和满加尔凹陷之间,是两次油气运移的指向地,因而是塔里木盆地的勘探主战场之一。塔北隆起古生代的构造样式与构造演化不仅对古生代不整合、断块、背斜、古潜山、风化壳等圈闭的勘探具有指导意义^[2],而且对中生代地层圈闭也具有指导意义^[3]。前人对塔北隆起构造变形已经进行过一些研究^[4-11],笔者正是在这一基础上,利用地震剖面解释和平衡剖面分析技术,对塔北隆起古生代构造样式进行详细的解剖,分析构造的横向差异机制,并对塔北隆起横向构造演化进行反演。

1 区域地质概况及地质特征

塔北隆起位于塔里木盆地北部,北以天山山前和库车坳陷为界,南以塔里木河和满加尔凹陷为界,西以喀拉玉尔滚断裂和阿瓦提凹陷为界,是一个走向近东西,呈微向北突出弧形展布的前侏罗纪古隆起(图 1)。前人将其划分为轮台凸起、英买力低凸起、哈拉哈塘凹陷、轮南低凸起、草湖凹陷、库尔勒鼻

隆 6 个二级构造单元^[1]。

塔里木盆地是在前震旦纪陆壳基底之上发育起来的大型复合叠合盆地,它的形成经历了震旦纪—中泥盆世、晚泥盆世—三叠纪和侏罗纪—第四纪 3 个伸展—聚敛旋回演化阶段^[12]。在盆地发育总体构造背景之下,塔北隆起经历了 6 个构造演化阶段,即前震旦纪结晶基底形成、震旦纪—中奥陶世克拉通边缘拗拉槽—被动大陆边缘、晚奥陶世—中泥盆世克拉通隆起形成阶段以及石炭纪—三叠纪前缘隆起发育阶段,侏罗纪—古近纪断陷盆地阶段和新近纪—第四纪复合前陆盆地斜坡阶段^[14,15]。其中,310~240 Ma 发生大规模的岩浆作用,形成大量的岩浆岩^[16,17]。塔北隆起古生代构造特征最终定型于二叠纪晚期,中生代的构造运动对其影响微弱,基本保留了中生代末的构造形态。

塔北隆起东西部存在巨大构造差异。塔北隆起东部轮台凸起轴部剥蚀到变质基底,与之相比英买力地区剥蚀量要小,古生代末期没有变质基底出露,

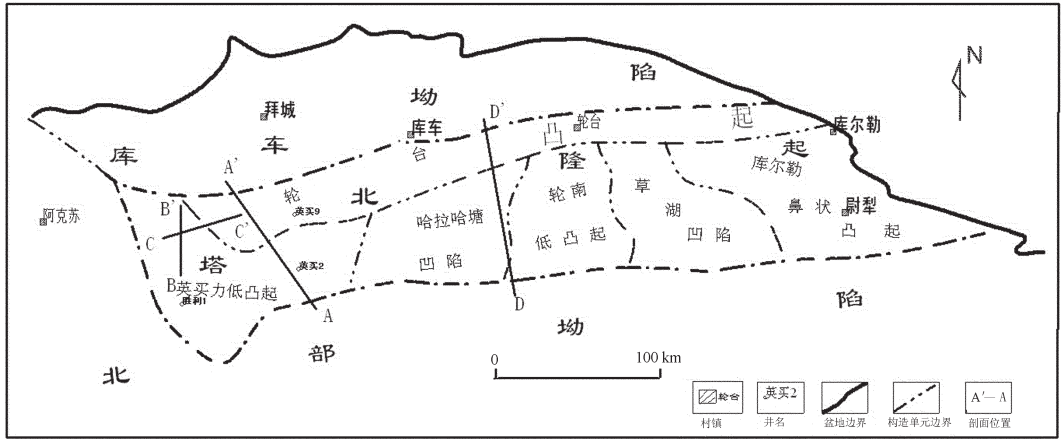


图 1 塔北隆起区域位置
Fig.1 Location of the North Tarim Uplift

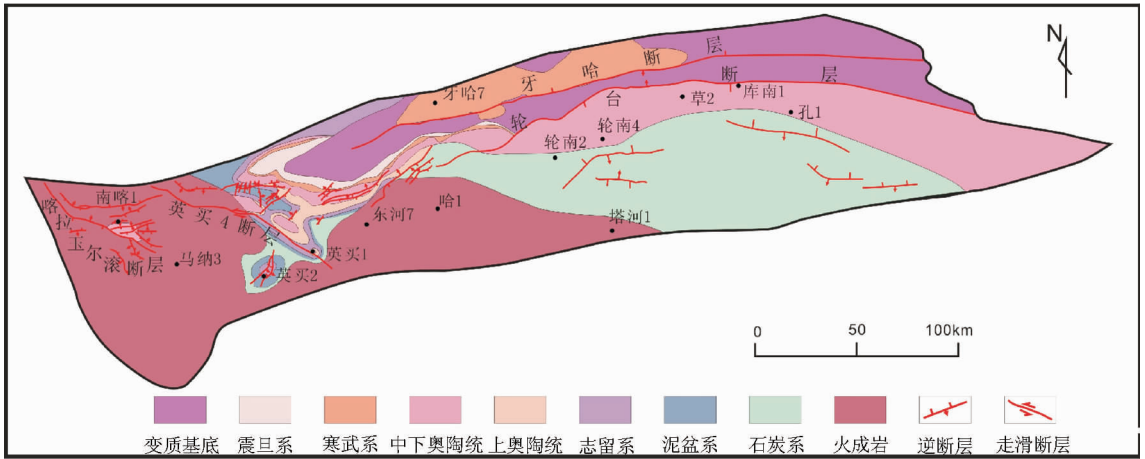


图 2 塔北隆起基底地质图(剥掉中生界)
Fig.2 Basement geological map of the North Tarim Uplift (with the removal of Mesozoic-Cenozoic strata)

古生界顶部以发育大面积的火山岩为特征(图 2)。

2 塔北隆起古生代构造样式

总的来说,塔北隆起古生界以挤压构造背景下形成的逆冲构造和褶皱构造为特征,主要是北西向褶皱和逆冲断层,也有北东向褶皱,见于英买力、东河塘及轮南地区。其次,为调节性走滑断层;另外,还有二叠纪大规模岩浆岩发育(图 2)。

2.1 塔北隆起英买力地区构造样式

塔北隆起西部英买力低凸起总体表现为挤压背景下的褶皱、断层构造和具有走滑分量压扭断层以及由火成岩的侵入产生的底辟构造(图 4)。

反映挤压背景下形成的褶皱和断层主要为沿中

寒武统盐层滑脱形成的滑脱褶皱和沿盐层的盖层滑脱式逆断层,局部也发育基底卷入式断层。英买力地区古生界褶皱有北西向和北东向两组(图 3),北西向见于胜利十六场、羊塔克、喀拉玉尔滚、英买 7—英买 4 和英买 32 背斜,北东向发育于英买 2、却勒—玉东地区。背斜均沿中寒武统盐层滑脱发育,它的形成与盐层的局部加厚有关。逆冲断层以北东向断层为主,沿中寒武统盐层发育,发育于英买 2 地区和玉东地区(图 4)。

具有走滑性质压扭断层主要为喀拉玉尔滚断层^[18,19]和英买 4 断层,它们呈北西向展布。地震剖面上表现为“y”型组合样式(图 5),反映断层具有走滑性质。喀拉玉尔滚断层为塔北隆起和西部阿瓦提坳陷的边界。

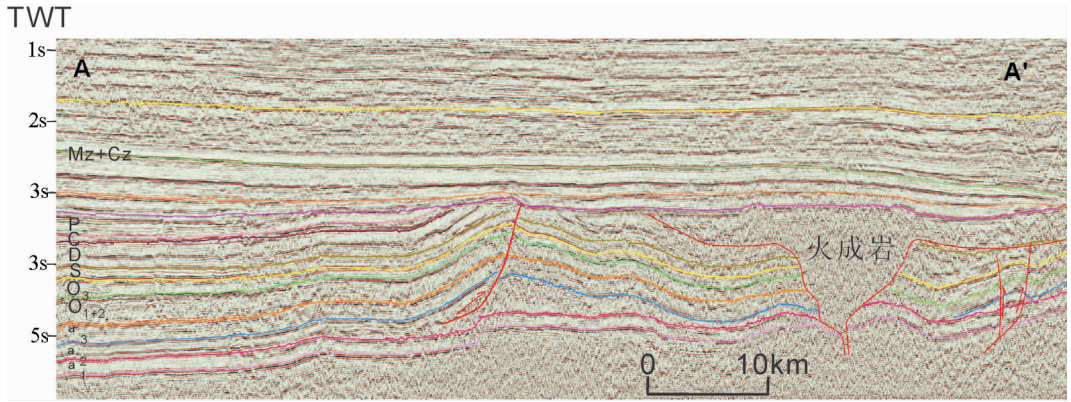


图3 过英买力地区南北向地震剖面
 Fig. 3 NS-trending seismic section across Yingmaili area

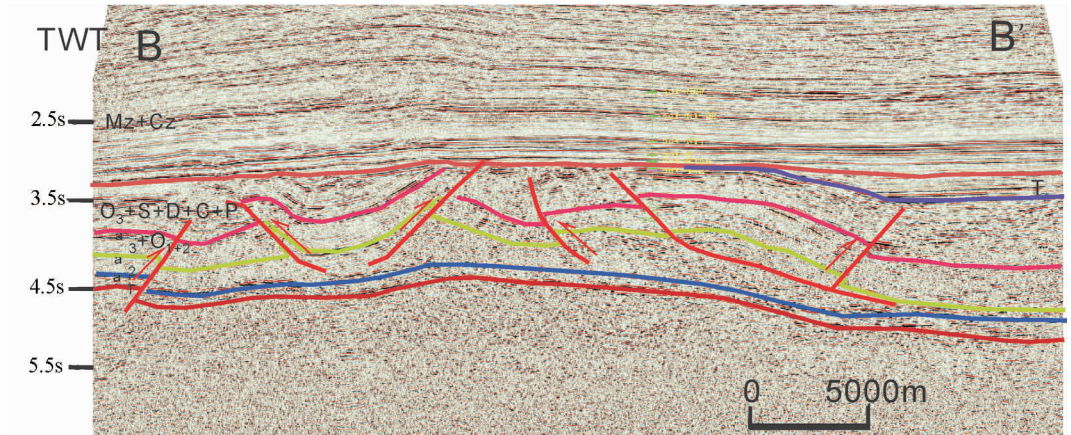


图4 玉东地区南北向剖面
 Fig. 4 NS-trending seismic section across Yudong area

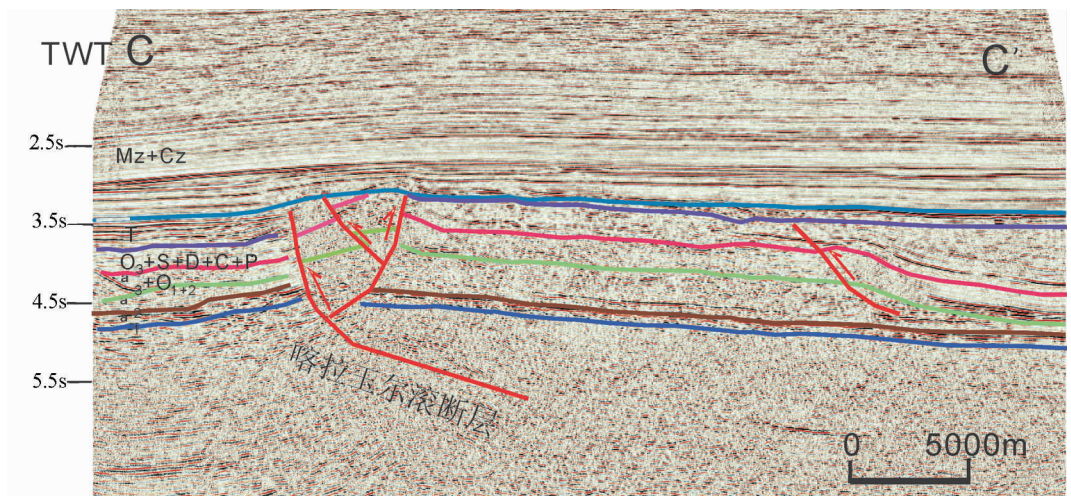


图5 过喀拉玉尔滚断层地震剖面
 Fig.5 Seismic section across Kalayunergun fault

2.2 塔北隆起东部构造样式

这里笔者所指的塔北隆起东部指的是英买力低凸起以东,本文主要描述轮台凸起构造变形样式。塔北隆起东部构造主要表现为一个大型的逆断层牙哈断层及其断层相关褶皱和轮台断层为其上盘的反冲断层(图 6)。轮台凸起遭受大规模的剥蚀作用,出露变质基底。

牙哈断层和轮台断层是塔北隆起规模最大的断层,断层呈北东东走向,断裂延伸超过 200 km。断层断距巨大,但是由于轮台地区的剥蚀作用而无法估算。前人对牙哈断层和轮台断层的构造样式进行过很多研究,一般认为这两条断层是一个背冲构造组合^[4-6]。从地震剖面上看,牙哈断层向下逐渐变缓,轮台断层在深部交于牙哈断层之上(图 6),因此轮台断层应该是牙哈断层上盘的反冲断层。牙哈断层上盘地层的向上挠曲显示,它是牙哈断层的传播褶皱,而轮台断层作为牙哈断层上盘的反冲断层,在传播褶皱中起到调节作用。

3 塔北隆起古生界构造横向差异的形成机制

从上文可以看出,塔北隆起构造样式存在巨大差异,西部英买力地区主要表现为盖层滑脱式的盐上褶皱和逆断层构造,而塔北隆起东部则表现为基底卷入式逆断层以及断层传播褶皱和反冲断层构造(图 2,表 1)。造成塔北隆起东西部差异的机理主要有以下两点:

(1)对早古生代构造的继承

震旦纪到早奥陶世塔里木盆地处于库满坳拉槽的发育时期^[8]。这一时期库满坳拉槽的沉降在塔里木盆地东部沉降量大,而西部沉降量小^[20]。这种大规模拉张背景下的沉降构造一般都伴随着正断层的发育。虽然从塔北隆起的地震剖面上看不到明显的早期正断层的发育,然而对比巴基斯坦喜马拉雅前陆盆地发育相似构造样式的研究表明这种大型逆断层是早期正断层的反转^[21]。如果从长距离来观察牙哈

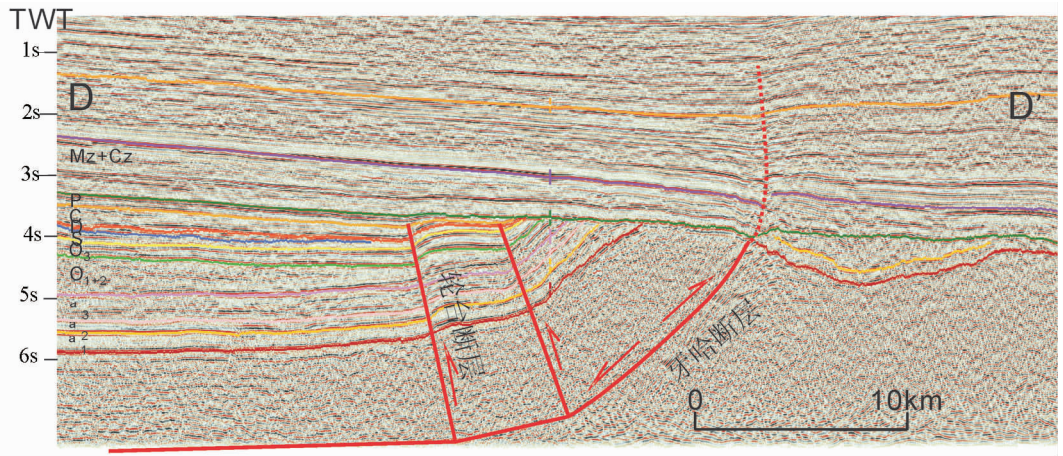


图 6 过牙哈—哈拉哈塘地震剖面
Fig.6 Seismic section across Yaha-Halahatang area

表 1 轮台凸起与英买力低凸起地质对比

Table 1 Comparison of geological characteristics between Luntai uplift and Yingmaili uplift

	轮台凸起	英买力低凸起
组成	以变质基底变质岩为主,古生界遭受强烈的掀斜剥蚀作用	古生代末主要出露二叠纪岩浆岩,下古生界残留于火成岩体之间
构造	北东东向大型基底卷入式逆冲断层及其上发育的断层传播褶皱和反冲断层	北西和北东向背斜,北东东向盖层滑脱式断层,以及北西向“y”型走滑压扭断层

断层,可以发现在同一海拔上,牙哈断层下盘地层要比处于牙哈断层上盘的轮南低凸起和哈拉哈塘凹陷地区的要老的多,加之轮台断层只是牙哈断层的伴生构造,且断距很小,对地层分布的影响作用不大,因此可以认为南新北老的地层关系是牙哈断层的正断活动引起的,正断层活动是从震旦纪到早奥陶世。在后期挤压构造背景下牙哈断层发生反转,成为大型基底卷入式逆冲断层,断层上盘沿断层面面向上爬升形成断层传播褶皱,同时还形成了反冲断层—轮台断层。

而英买力地区震旦纪到早奥陶世是浅海碳酸盐岩台地沉积,沉降量比东部小,没有早期大型正断层,故虽然同受后期的挤压作用也不易形成如牙哈断裂和轮台断裂这样的大型逆冲断层。

(2)英买力地区中寒武统膏盐岩的发育

膏盐岩作为滑脱层的存在对构造样式的发育具有重要的影响作用。很多地区的研究表明,在挤压背景下膏盐岩发育地区的变形以盖层滑脱方式发育,而在膏盐岩不发育地区则容易形成基底卷入式构造^[2]。中寒武统膏盐岩的存在导致英买地区构造样式以沿膏盐层滑脱的盖层滑脱式构造样式为主,仅在少数地区发育基底卷入式逆冲断层。

横向上构造差异往往通过走滑断层来调节^[23],塔北隆起东西部之间差异通过走滑断层英买 4 断层

来调节。英买 4 断层是一条发育于古生代的走滑断层,位于英买力低凸起和轮台凸起—哈拉哈塘凹陷之间,呈北西向延伸。英买 4 断层西部发育盐层,东部不发育盐层,而英买 4 断层处在盐增厚背斜上,调节了东西部构造差异。

4 塔北隆起古生界构造反演

4.1 塔北隆起东部构造反演

震旦纪到中奥陶世库满坳拉槽发育,牙哈断层作为库满坳拉槽的边界断层而发育(图 7),塔北隆起东部快速沉降,发育半深海、深海沉积。晚奥陶世到中泥盆世,克拉通隆起发育,牙哈断层反转,上盘发育反冲的轮台逆冲断层,沉积环境变为海相滨岸及障壁岛—泻湖环境^[24]。石炭纪到二叠纪,前缘隆起发育,轮台凸起快速抬升,遭受大量的剥蚀,出露变质基底。

4.2 英买力地区构造反演

震旦纪到中奥陶世库满坳拉槽发育时期,塔北隆起西部处于碳酸盐岩台地背景下的稳定碳酸盐岩沉积,没有大型正断层的发育(图 8)。晚奥陶世到中泥盆世,英买力地区北部轮台凸起部分开始发育逆冲断层,而其南部英买力低凸起部分构造变形弱,只是作为隆起的斜坡出现,没有明显的剥蚀作用。石炭纪—二叠纪,英买力低凸起在南天山洋闭合的区域

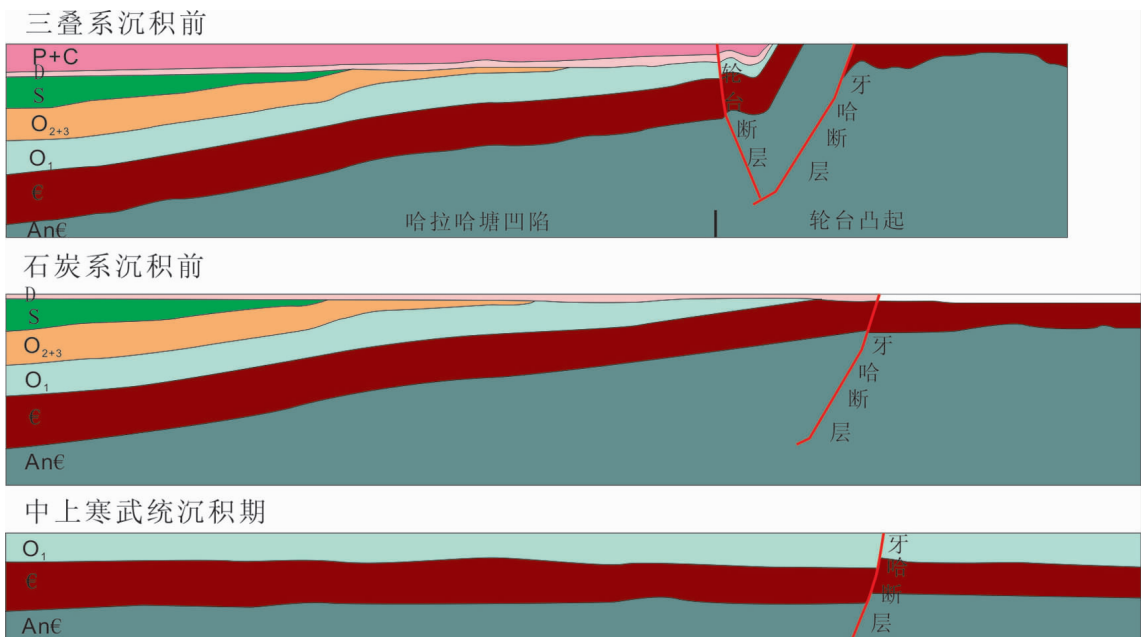


图 7 塔北隆起东部构造反演

Fig.7 Structural modeling of eastern North Tarim Uplift

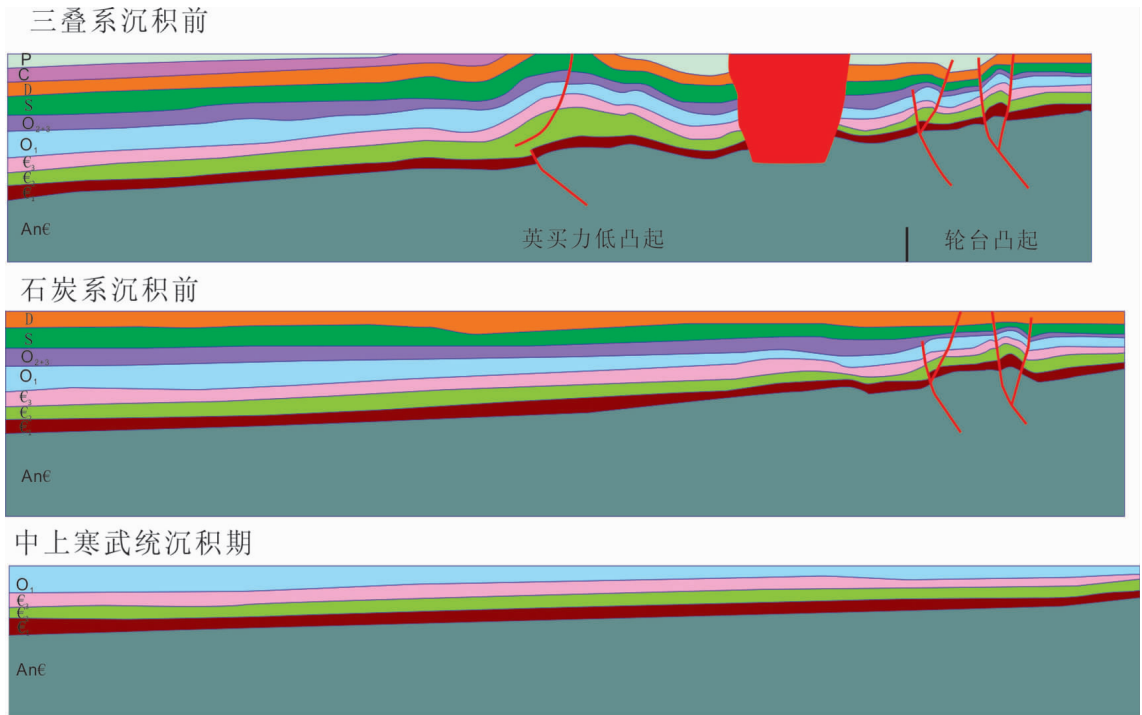


图 8 英买力地区构造反演

Fig.8 Structural modeling of Yingmaili area

挤压背景下,构造变形强烈,发育大量的滑脱褶皱、断层构造,英买力地区大幅度抬升,此后在抬升后拉伸作用下,英买力地区发育大面积火成岩。

5 结论

(1)塔北隆起古生界构造变形复杂,东西部存在着巨大的差异。东部发育基底卷入式逆冲断层及其相关的断层传播褶皱和反冲断层,剥蚀作用强烈,轮台凸起出露变质基底。而其西部英买力地区则以沿中寒武统盐层滑脱的褶皱和断层为主,发育少量基底卷入式逆断层,并发生大规模的岩浆侵入作用。

(2)造成塔北隆起东西部构造差异的原因主要有两个方面:一是对塔北隆起早古生代构造变形差异性的继承。震旦纪至早奥陶世,塔北隆起东部发育大型边界正断层牙哈断层,而其西部发育稳定碳酸盐岩台地,没有大规模正断层的发育。二是塔北隆起西部盐层的存在导致英买力地区主要发育盖层滑脱式逆断层和褶皱。

(3)塔北隆起总体上遵循着相似的构造发育史,但是东西部也存在着一定的差异。塔北隆起东部震旦纪—早奥陶世发育大型正断层构造,而英买力地

区为稳定碳酸盐岩台地,没有明显的大型正断层;晚奥陶世到中泥盆世,塔北隆起东部牙哈断层发生反转,而英买力低凸起位于隆起的斜坡部位;石炭纪到二叠纪,塔北隆起东部大规模抬升,剥蚀严重,出露变质基底,英买力地区遭受强烈的变形作用,主要发育盖层滑脱式逆断层和褶皱构造。

参考文献(References):

- [1] 崔泽宏,王志欣,汤良杰.塔北隆起北部叠加断裂构造特征与成因背景分析[J].中国地质,2005,32(3):378-385.
Cui Zehong, Wang Zhixin, Tang Liangjie. Characteristics of overlap faults in the north of the Tabei uplift and analysis of their genetic setting [J]. Geology in China, 2005, 32 (3):378-385 (in Chinese with English abstract).
- [2] 魏国齐,贾承造,姚慧君.塔北地区海西晚期逆冲-走滑构造与含油气关系[J].新疆石油地质,1995,16(2):96-101.
Wei Guoqi, Jia Chengzao, Yao Huijun. The relation of thrust-strike slip structure and hydrocarbon potential in late of Hercynian in north area of Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(2):96-101 (in Chinese with English abstract).
- [3] 罗春树,杨金华,李江海,等.塔里木盆地塔北隆起西段中生界圈闭新认识与勘探思路[J].石油地球物理勘探,2007,42(2):226-229,234.
Luo Chunshu, Yang Jinhua, Li Jianghai, et al. New knowledge and

- exploration thought about Mesozoic traps in west of Tabei uplift, Tarim basin [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(2):226-229, 234 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张光亚, 陈发景, 汪新文. 塔北地区变形样式及其分布规律 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(6):755-768.
Zhang Guangya, Chen Fajing, Wang Xinwen. Deformation style and its distribution in North Tarim Basin, northwestern China [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(6):755-768 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王燮培, 严俊君. 塔里木盆地北部断裂格架分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(3):237-242.
Wang Xiepei, Yan Junjun. Structural framework of major faults in northern Tarim Basin, Xinjiang [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(3):237-242 (in Chinese with English abstract).
- [6] 龚铭, 邵鸿良, 伍泓, 等. 塔里木盆地断裂构造样式与油气关系探讨[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(1):11-21.
Gong Ming, Shao Hongliang, Wu Hong, et al. Fault structural styles in Tarim Basin and their relation with hydrocarbon [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(1):11-21(in Chinese with English abstract).
- [7] 杨春林, 张振生, 管守锐. 塔里木盆地内构造样式类型[J]. 断块油气田, 2000, 7(5):11-15.
Yang Chunlin, Zhang Zhensheng, Guan Shourui. Structural style types in Tarim Basin [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2000, 7(5): 11-15 (in Chinese with English abstract).
- [8] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木多旋回叠合盆地地质结构特征[J]. 中国石油勘探, 2006, 1:31-41.
He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Chaojun, et al. Characteristics of geologic framework of multicycle superimposed basin in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 1:31-41(in Chinese with English abstract).
- [9] 何治亮, 徐宏节, 段铁军. 塔里木多旋回盆地复合构造样式初步分析[J]. 地质科学, 2005, 40 (2): 153-166.
He Zhiliang, Xu Hongjie, Duan Tiejun. A preliminary analysis on compound structural styles in the Tarim Polycyclic Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2):153-166 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王红军, 张光亚. 塔里木克拉通盆地油气勘探对策[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6):50-55.
Wang Hongjun, Zhang Guangya. Oil and gas exploration strategy in Tarim cratonic basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(6):50-52(in Chinese with English abstract).
- [11] 张宗命, 贾承造. 塔里木克拉通盆地内古隆起及其找油气方向 [J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 1997, 12(3):8-15.
Zhang Zongming, Jia Chengzao. Paleohighs in craton basin of Talimu and exploration objectives [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1997, 12(3):8-15 (in Chinese with English abstract).
- [12] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1):64-77.
He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1):64-77(in Chinese with English abstract).
- [13] 张光亚, 宋建国. 塔里木克拉通盆地改造对油气聚集和保存的控制[J]. 地质论评, 1998, 44(5):511-521.
Zhang Guangya, Song Jianguo. Control of basin reworking on hydrocarbon accumulation and preservation in the Tarim Cratonic Basin, Northwest China [J]. Geology Review, 1998, 44(5): 511-521 (in Chinese with English abstract).
- [14] 徐国强, 刘树根, 李国蓉, 等. 塔中、塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1):114-121.
Xu Guoqiang, Liu Shugen, Li Guorong, et al. Comparison of tectonic evolution and petroleum geologic conditions in Tazhong and Tabei paleohighs in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1):114-121 (in Chinese with English abstract).
- [15] 汤良杰. 略论塔里木盆地主要构造运动[J]. 石油实验地质, 1997, 19(2):108-114.
Tang Liangjie. An approach to major tectogenesis of Tarim Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1997, 19 (2):108-114 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈汉林, 杨树锋, 贾承造. 塔里木盆地北部二叠纪中酸性火成岩带的厘定及其对塔北构造演化的新认识[J]. 矿物学报, 1998, 18 (3):370-376.
Chen Hanlin, Yang Shufeng, Jia Chengzao. Confirmation of Permian intermediate -acid igneous rock zone and a new understanding of tectonic evolution in the northern part of the Tarim Basin [J]. Acta Mineralogical Sinica, 1998, 18(3):370-376(in Chinese with English abstract).
- [17] 任康绪, 潘文庆, 高宏亮, 等. 塔北隆起西部火成岩储层特征及其勘探方向[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2):1-4,29.
Ren Kangxu, Pan Wenqing, Gao Hongliang, et al. Reservoir characteristics and play target of igneous rock, western Tabei uplift [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2007, 30 (2): 1-4,29 (in Chinese with English abstract).
- [18] 何文渊, 李江海, 钱祥麟, 等. 塔里木盆地柯坪断隆断裂构造分析[J]. 中国地质, 2002, 29(1):37-43.
He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin, et al. Analysis of fault structures in the Kalpin fault uplift, Tarim basin [J]. Geology in China, 2002, 29(1):37-43(in Chinese with English abstract).
- [19] 李涛, 王宗秀. 塔里木地块北部横向构造及断条模式[J]. 中国地质, 2006, 33(1):14-27.
Li Tao, Wang Zongxiu. Transverse structure and model of fault slivers in the northern part of the Tarim block [J]. Geology in China, 2006, 33(1):14-27(in Chinese with English abstract).
- [20] 徐旭辉. 塔里木古生代原型盆地分析的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2006, 23(5):224-229.
Xu Xuhui. The significance of the analysis of Tarim Paleozoic prototype basin in oil and gas exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 23(5): 224-229(in Chinese with English abstract).
- [21] Burbank D W, Beck R A. Comment and reply on "development of the Himalayan Frontal thrust zone: Salt Range, Pakistan" [J].

- Geology, 1989, 328–380.
- [22] Hafid M, Zizi M, Bally A W, et al. Structural styles of the western onshore and offshore termination of the High Atlas, Morocco[J]. C. R. Geoscience, 2006, 338:50–64.
- [23] Cotton J T, Koyi H A. Modeling of thrust fronts above ductile and frictional detachments: Application to structures in the Salt Range and Potwar Plateau, Pakistan[J]. GSA Bulletin, 2002, 112(3):351–363.
- [24] 朱筱敏, 张强, 吕雪雁, 等. 塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段沉积特征对比[J]. 中国地质, 2005, 32(4):648–654.
- Zhu Xiaomin, Zhang Qiang, Lv Xueyan, et al. Comparison of the sedimentary characteristics of the Donghe sandstone between the Tabei and Tazhong areas, Tarim basin[J]. Geology in China, 2005, 32(4):648–654 (in Chinese with English abstract).

Paleozoic structural styles and evolution of the North Tarim Uplift

CHENG Hai-yan, LI Jiang-hai, ZHAO Xing

(Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The North Tarim Uplift is one of the most important oil and gas-bearing areas in the Tarim Basin. Seismic section and balanced section were used to reveal its structural styles and evolution. The structural styles in the North Tarim Uplift are remarkably different in its different parts. Yingmaili in the west of the North Tarim Uplift mainly has decollement folds and faults and 'y'-style transpressure faults, while the east of the North Tarim Uplift has well-developed basement-involved faults, fault-propagated-folds and recoil faults. There are two mechanisms responsible for the difference. First, during the Sinian–Early Ordovician period, the east part developed normal faults, which were inverted later and formed the basement-involved structure. Second, salt was deposited in Yingmaili during Middle Cambrian, which was favorable for the development of the decollement structure. The evolution is also different in different parts. During the Sinian–Early Ordovician period, the east part developed huge normal faults, while the Yingmaili was a stable carbonatite platform. During the Late Ordovician–Devonian period, the east part was inverted and uplifted, whereas Yingmaili was only the slope of the uplift. During Carboniferous and Permian, all parts of the North Tarim Uplift underwent serious deformation.

Key words: North Tarim Uplift; structural difference; structure evolution; decollement structure; basement-involved structure

About the first author: Cheng Hai-yan, female, born in 1983, doctor candidate, specializes in petroleum geology; E-mail: chhy_yan@163.com.