

doi:10.3799/dqkx.2017.504

塔里木盆地玛扎格断裂带变形特征、演化及对深层油气成藏的控制

谢会文¹,陈新伟^{2*},朱民^{1,2},李龙江³,王祥¹,陈汉林²,程晓敢²

1.中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院,新疆库尔勒 841000

2.浙江大学地球科学学院,浙江杭州 310027

3.川庆钻探地球物理勘探公司物探研究中心,四川成都 610213

摘要:玛扎格断裂带的演化过程对塔里木盆地巴楚隆起和麦盖提斜坡油气成藏有着重要的控制作用。根据最新地震资料的精细解释和构造解析,分析了玛扎格断裂带的变形结构、样式和变形过程。玛扎格断裂带的变形分为上、中、下(深)3层结构,分别形成于不同时期。玛扎格断裂带变形的差异性主要体现在中层构造,从东往西控制中层构造发育的逆冲断层及其反冲断层的位移量不断加大,褶皱核部的剥蚀量也向西持续增加。玛扎格断裂带深部背斜构造存在发育盐下白云岩原生油气藏的可能,后期的变形没有破坏早期形成的深层背斜构造。玛扎格断裂带深部背斜构造的盐下白云岩是油气勘探的有利方向。

关键词:玛扎格断裂带;变形特征;深层构造;油气藏;塔里木盆地。

中图分类号:P547

文章编号:1000-2383(2017)09-1578-12

收稿日期:2016-12-20

Deformation Characteristics, Tectonic Evolution and Their Control on Deep Petroleum Accumulation of Mazhatage Fault Belt in Tarim Basin

Xie Huiwen¹, Chen Xinwei^{2*}, Zhu Min^{1,2}, Li Longjiang³, Wang Xiang¹, Chen Hanlin², Cheng Xiaogan²

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

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

3.Geophysical Exploration Research Center, Geophysical Exploration Company, Chuanging Drilling Engineering Co. Ltd., Chengdu 610213, China

Abstract: The evolution history of the Mazhatage fault belt is important for understanding the tectonic evolution and petroleum accumulation history of the Bachu uplift and Maigaiti slope in the Tarim basin. Based on detailed interpretation of the latest seismic data, the deformation structure and history of the Mazhatage fault belt are analyzed in this article. It is suggested that deformation of the Mazhatage fault belt could be divided into upper, middle and lower structures, formed at different times. Lateral variation of the Mazhatage mainly is reflected at its middle structure. The displacement of the thrust fault and its back thrusts that control the middle structure increased from east to west, led to the denudation at the core of fold also increased westwardly. The later deformation did not break the deep anticlinal trap. Thus, the Cambrian dolomite under the salt layer of deep anticline is a beneficial direction for oil-gas exploration in the Mazhatage fault area.

Key words: Mazhatage fault belt; deformation characteristics; deep structure; petroleum reservoirs; Tarim basin.

0 引言

富含油气资源的塔里木盆地经历了非常复杂的

演化过程。巴楚隆起位于塔里木盆地中央隆起区西部,其西—西南部以色力布亚—海米罗斯—玛扎格断裂带与麦盖提斜坡为界,西北部以柯坪冲断带

基金项目:国家自然科学基金(Nos.41330207,41472181)。

作者简介:谢会文(1967—),男,教授级高级工程师,主要从事矿产普查与勘探研究。ORCID:0000-0001-6638-4471.E-mail:xiehw-tlm@petrochina.com.cn

*通讯作者:陈新伟,ORCID:0000-0002-9331-1216.E-mail:3070601287@163.com

引用格式:谢会文,陈新伟,朱民,等,2017.塔里木盆地玛扎格断裂带变形特征、演化及对深层油气成藏的控制.地球科学,42(9):1578—1589.

与柯坪断隆分开,东北—北部以阿恰—吐木休克断裂与阿瓦提凹陷为界。玛扎塔格断裂带是巴楚隆起的西南部边界断裂,整体为北西西向,略微向北北东凸出的宽缓弧形(杨海军等,2007)(图1)。该断裂经历了多期构造变形(杨海军等,2007;李坤,2009;杨勇等,2014);其活动对区域的油气成藏与运移有着重大影响。

虽然前人对玛扎塔格断裂的演化过程开展了大量的研究工作,但其构造形态与演化过程仍存在较大争议。受地震反射资料品质的影响,争论集中于研究区中、深部前新生代地层中断裂发育的构造样式和构造发育时间。部分学者认为玛扎塔格断裂带在早期为两条走向近平行的基底卷入型逆冲断裂,断开了底部的中下寒武统。玛南断层为主干断层,玛北断层为其背冲断层(刘海涛,2011)。玛南断裂在加里东早期至海西晚期可能为张性断裂(李坤,2009),在后期的挤压背景下发生逆冲;而玛北断层是在古近纪至上新世末强烈挤压活动中形成的背冲断层(聂刚,2006;阳怀忠,2010;杨勇等,2014;郭颖等,2016;刘建良等,2016)。而杨海军等(2007)认为新生界沉积之前发育沿中寒武统膏盐层滑脱的断层传播褶皱,未断穿中下寒武统;中新世末才发育基底卷入型挤压断裂,形成背冲的玛南和玛北断裂,并切穿底部的中下寒武统。

近几年开展的一系列新的地震勘探和老地震资料的重新处理,为厘清玛扎塔格断裂带的构造样式、空间上的变化及演化过程提供了可能。本文通过对最新的地震资料的详细解释,对玛扎塔格断裂带深部构造与演化过程进行了系统的研究,并探讨了研究区的油气成藏条件。

1 地层发育特征与区域性滑脱层

玛扎塔格断裂带及其邻区发育的地层比较齐全,古生代以来地层除侏罗系、白垩系外均有发育(郭颖等,2016)(图2)。分析玛扎塔格断裂带及邻区的地层发育特征可以发现,研究区的区域性滑脱层主要发育在中一下寒武统和古近系下部。中一下寒武统滑脱层发育在下寒武统的吾松格尔组(E_1w ,下膏盐岩段)和中寒武统的阿瓦塔格组(E_2a ,上膏盐岩段)。下寒武统吾松格尔组主要为蒸发台地沉积,岩性为膏岩、膏盐岩、膏质云岩、云岩、泥质云岩、云质泥岩略呈不等厚互层;中寒武统阿瓦塔格组主要为蒸发台地沉积,岩性为膏质云岩、云质膏岩、膏岩,夹紫红色泥质云岩、含膏云岩、云质泥岩、燧石团块云岩。古近系下部的滑脱层发育在阿尔塔什组(E_1a)(叶宁等,2014)。阿尔塔什组(E_1a)由白色、灰白色厚层块状或中厚层晶粒石膏和硬石膏组成,常夹浅灰

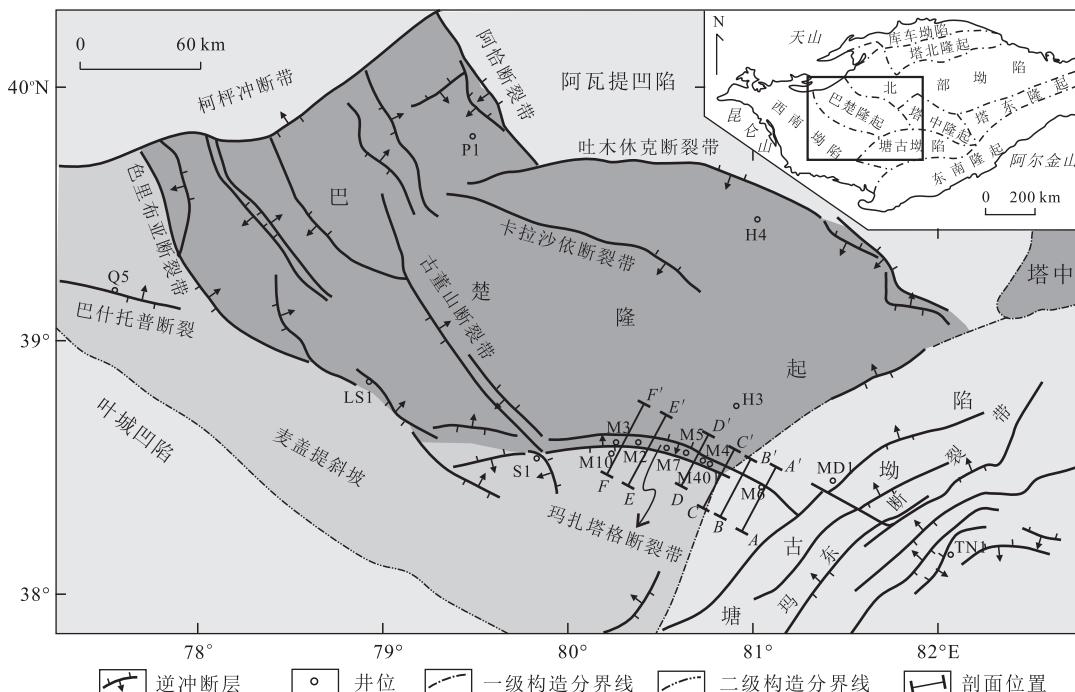


图1 巴楚隆起及其邻区断裂分布

Fig.1 Distribution of the faults in the Bachu uplift and its periphery

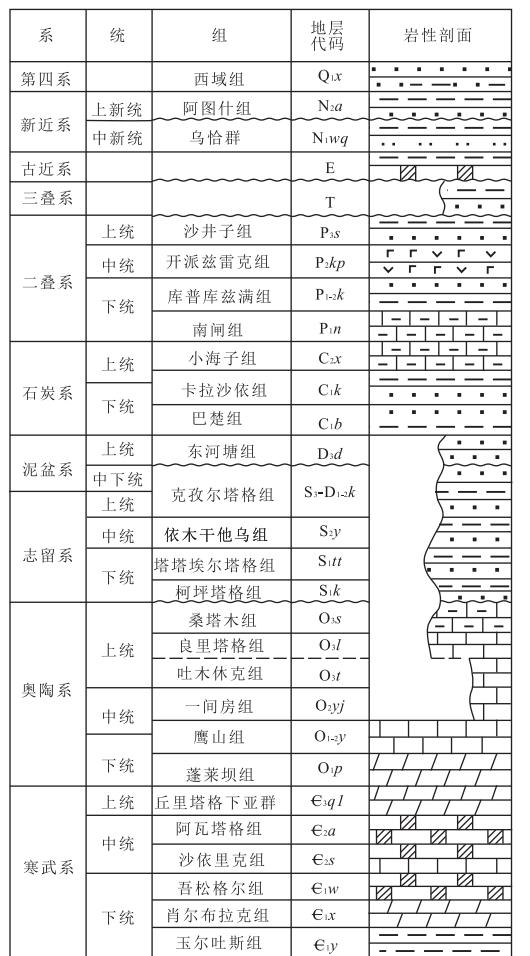


图 2 玛扎塔格地区地层发育特征

Fig.2 Stratigraphic sequence of the Bachu area

据郭颖等(2016)修改

色、灰白色白云岩、棕红色及灰绿色泥岩、膏泥岩,厚数十米至数百米(邵龙义等,2007).

2 玛扎塔格断裂构造特征

由于早期的地震剖面深部品质不佳,难以识别,前人往往将玛扎塔格断裂带深部解释为基底逆冲断裂,断裂带西段相对复杂的构造样式也导致了解释模式的多样性(聂刚,2006;阳怀忠,2010;杨勇等,2014;郭颖等,2016).本文在玛扎塔格地区自东向西选择了最新处理的6条穿过断裂带且结构较为清晰的NNE-SSW向地震剖面进行精细解释(图3,4).以下以断裂带东段的A-A'剖面和西段的C-C'剖面为代表进行描述.

A-A'剖面位于玛扎塔格断裂带的东段,是东段变形特征较为典型的剖面.由于其地震反射特征较为清晰,为准确建立玛扎塔格断裂带东段的构造模型提

供了可能.该剖面的构造形态相对简单,在M6井南侧垂向上以中一下寒武统和古近系下部两个区域性滑脱层为界可以划分为3套倾角不一致的地层,自上而下分别为新生界、上寒武统一二叠系和中寒武统及以下地层.上部的地层倾角最大,下部的中寒武系及以下地层倾角最小(图3),表明沿着两个区域性滑脱层发育了滑脱断层.此外,断裂带南侧还存在着两个明显的不整合面:一个是石炭系(以及少量的上泥盆统)与下伏地层(主要是中下奥陶统)的不整合,缺失上奥陶统一中下泥盆统;另一个古近系与下伏地层(主要是二叠系)的不整合,缺失三叠系—白垩系.而M6井的北侧,可以识别出4个不整合:志留系—中下泥盆统与上奥陶统和中下奥陶统的不整合,上奥陶统向南剥蚀尖灭;上泥盆统与志留系—中下泥盆统的不整合,志留系—中下泥盆统向南下超上剥,向南尖灭;古近系与二叠系的不整合;分布在玛扎塔格断裂带及其北侧的阿图什组中上部与下伏地层的不整合.这些地层倾角的变化和不整合的发育与玛扎塔格及其邻区发生的构造变形事件有关.

A-A'剖面上,在玛扎塔格断裂带深部,最新处理地震资料中的中下寒武统地震反射界面具有较好的连续性,表现为较为完整的背斜形态,并没有被断层错断的明显迹象.因此,笔者认为玛扎塔格断裂带深部并不发育基底逆冲断裂,而是完整的背斜构造.根据背斜的形态推断,该背斜是一个断弯褶皱(图3).玛扎塔格断裂带北侧,以上泥盆统东河塘组(D_{3d})底为界,上下地层的褶皱轴面表现出不一致,下部地层变形形成的褶皱轴面被近水平的D_{3d}覆盖,表明上下层系经历了不同期的构造变形.志留系—中下泥盆统与上奥陶统和中下奥陶统的不整合,以及上泥盆统与志留系—中下泥盆统的不整合表明上泥盆统沉积之前发生了两期构造变形,形成了深部的背斜构造,背斜构造北侧上奥陶统一中下泥盆统向南剥蚀尖灭,造成其核部以及南侧石炭系直接覆盖在中下奥陶系之上.综合周边地区的变形特征和变形时间,笔者认为玛扎塔格断裂带深部构造形成于奥陶纪末期,受控于深部向北冲断的逆冲断层(F₁),中泥盆世末期该断裂继承性活动(图3).深部断层(F₁)为塔西南古隆起(和田古隆起)的北界.

中部构造没有影响到深部的构造变形,为沿着中寒武统膏盐层滑脱(F₂)形成的断层传播褶皱,因此两者是分层变形.该背斜的顶部被剥蚀,并被上新统中上部(N_{2a})不整合覆盖,因此中层构造的形成时间为上新世早期,在背斜北侧可识别出上新统中

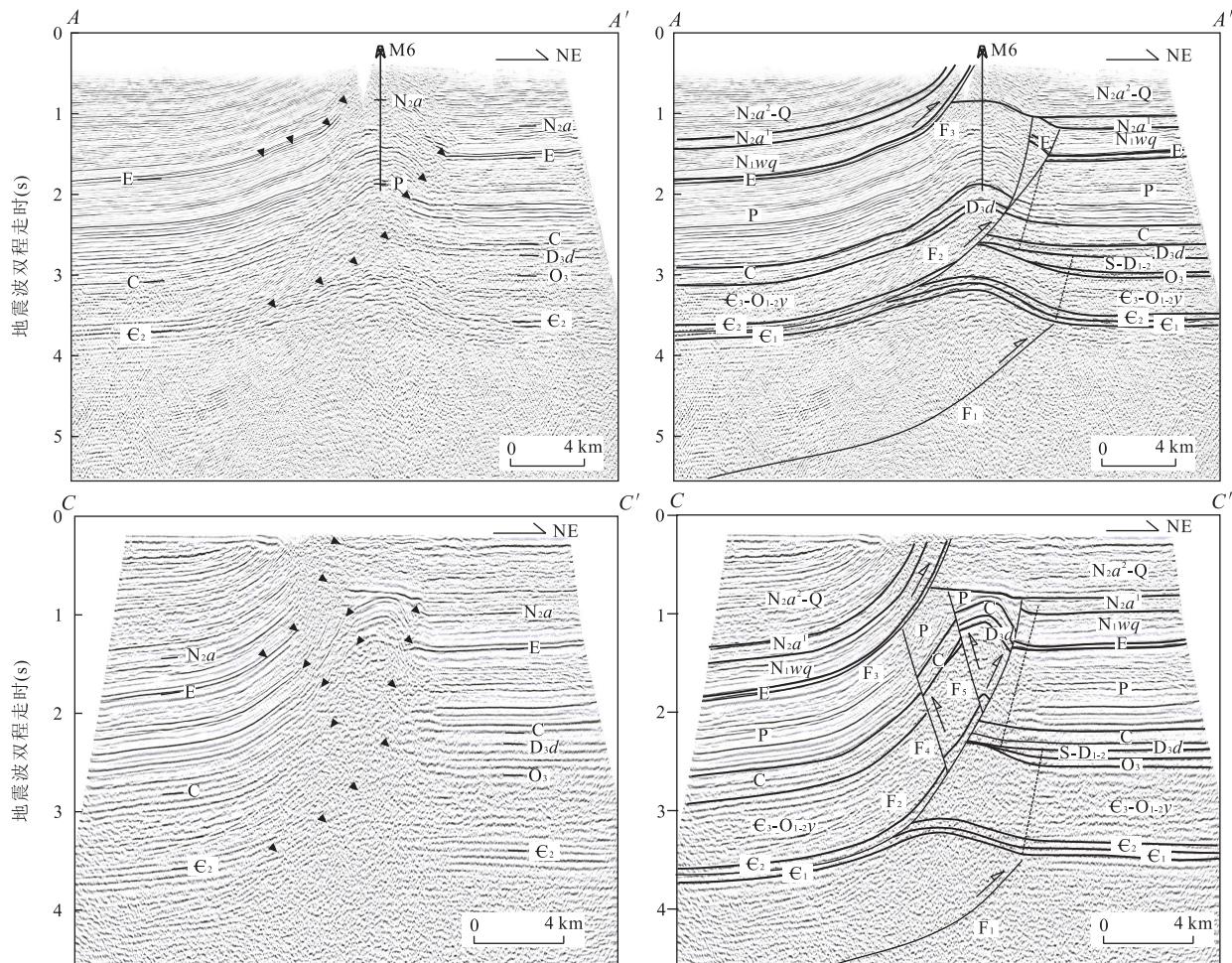


图3 玛扎塔格断裂带代表性地震剖面A-A'和剖面C-C'解释方案

Fig.3 Uninterpreted and interpreted seismic line A-A' and C-C' of Mazhatage fault belt

左为未解释剖面,右为解释剖面,剖面位置见图1

上部明显不整合在上新统下部以及中新统之上。

对于浅层的变形,地质学家的认识基本是一致的,认为现今地表的玛扎塔格构造是沿着古近系底部膏盐层滑脱而形成的(杨海军等,2007)。沿着古近系底部膏盐层自南向北滑脱(F_3),切过中部构造并一直冲出地表,形成玛扎塔格山。从卷入变形地层分析,浅层构造形成时间为第四纪。

玛扎塔格断裂带的变形在空间上具有一定的差异。C-C'剖面位于A-A'剖面以西(图3,4),两者的总体结构具有一定的相似性,也就是表现出相同的3层变形结构。但是两者在中部构造的变形表现出明显的差异性。首先,C-C'剖面中部断层滑脱褶皱的变形强度更大,中部构造层背斜顶部的二叠系中上部地层被大量剥蚀,仅残余数百米二叠系下部地层,说明该剖面上 F_2 的垂直断距更大;其次,C-C'剖面开始发育两条北倾断层 F_4 和 F_5 ,在地震剖面上可清晰地识别出其断点(图3)。这些北倾断层为沿着中

寒武统膏盐层滑脱断层(F_2)的反冲断层,C-C'剖面上 F_4 和 F_5 垂直断距较为有限。从C-C'剖面往西,沿中寒武统膏盐层滑脱的逆冲断层 F_2 和其反冲断层 F_4 和 F_5 的逆冲量持续增大,垂直断距增加; F_2 断层逆冲形成的断层传播褶皱核部的剥蚀量也向西持续增大(图4),到了E-E'剖面,背斜核部的石炭系直接与上覆的上新统接触(图4)。

从上述分析可以发现,玛扎塔格断裂带的变形为上、中、下3层结构,分别形成于不同的时间,晚期的变形对早期没有产生重要的影响。玛扎塔格断裂带深部断弯褶皱形成于奥陶纪末期,受控于深部的逆冲断层(F_1),并在中泥盆世末发生继承性活动;中部构造为沿着中寒武统膏盐层滑脱(F_2)形成的断层传播褶皱,形成于上新世早期;上层构造(现今地表的玛扎塔格构造)是沿着古近系底部膏盐层滑脱(F_3)而形成,发育于第四纪。玛扎塔格断裂带变形的差异性主要体现在中层构造,从东往西控制中层构

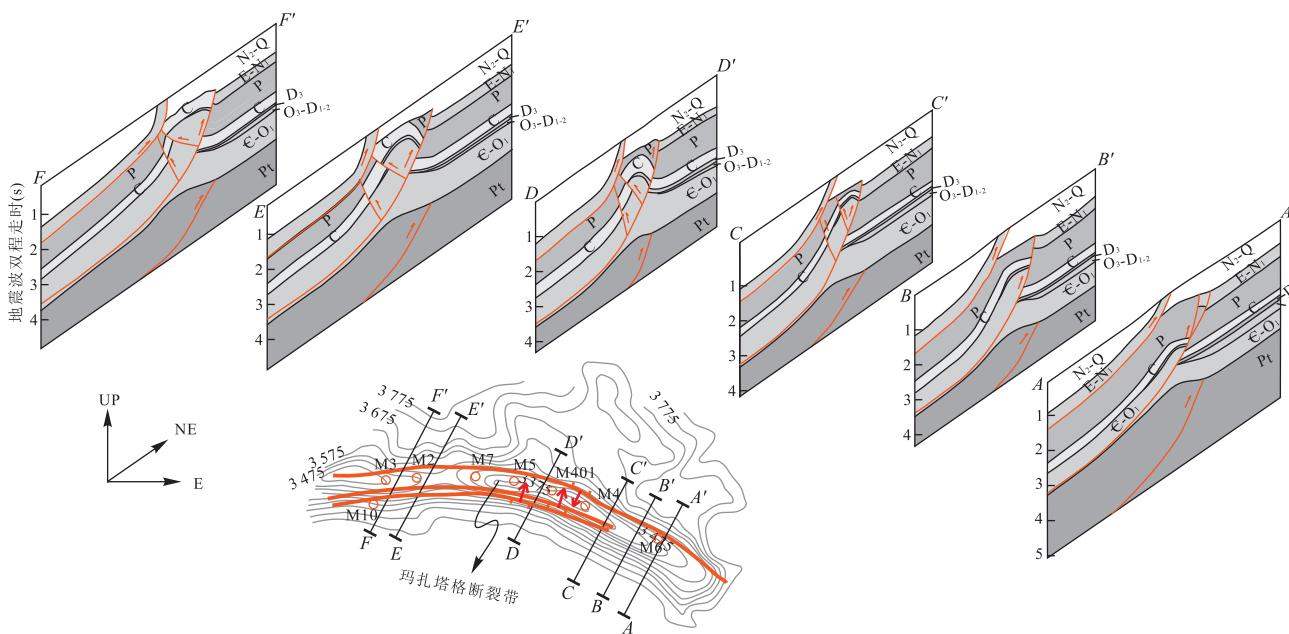


图 4 玛扎塔格断裂带现今形态与拟三维构造图以及研究区下寒武统顶面等 T0 图(单位:ms)

Fig.4 Present Mazhatage fault belt and its 3D structure Model and T0 figure (ms) of Lower Cambriantop surface in the study area

造发育的 F_2 断层的位移量不断加大,导致其反冲断层 F_4 和 F_5 的发育以及逆冲量向西的持续增大;同时 F_2 断层逆冲形成的断层传播褶皱核部的剥蚀量也向西持续增大,到了西部背斜核部的石炭系直接与上新统接触(图 4)。

3 玛扎塔格断裂带的变形过程

平衡剖面技术可以通过几何原则对构造剖面的变形进行复原,以反映地震剖面的合理性、演化过程与构造变形程度(Mitra and Namson, 1989; 李传新和郭召杰, 2011).本文使用 2Dmove 软件,根据面积守恒原则对过玛扎塔格断裂带东段和西段的两条代表性地震剖面进行了平衡剖面恢复,计算了其理论最小缩短量,并制作了地震剖面的正演和反演演化模式图(图 5,6).

通过对玛扎塔格断裂带变形的构造样式和变形时间分析,本文提出玛扎塔格断裂带的构造变形过程,认为主要经历了 3 期构造变形:第 1 期构造变形发生在奥陶纪末—中泥盆世末,第 2 期发生在上新世早期,第 3 期变形发生在第四纪.其中 A-A' 剖面的原始长度为 31.6 km,在第 1 期构造变形中的缩短量为 0.7 km,第 2 期缩短量为 1.3 km,第 3 期构造变形中的缩短量为 4.1 km,其现今剖面长度为 25.5 km.C-C' 剖面的原始长度为 27.7 km,在第 1 期

构造变形中缩短量为 0.7 km,第 2 期缩短量为 3.2 km,第 3 期构造变形中的缩短量为 3.0 km,其现今剖面长度为 20.8 km.

以 A-A' 剖面为代表的东段(图 5),在奥陶纪末期发生了自南向北的逆冲作用,导致奥陶系及其之前的地层发生变形,形成了深部的断弯褶皱,同时导致南侧发生抬升使得奥陶系遭受剥蚀,形成塔西南古隆起(和田古隆起).之后,志留系—中下泥盆统向和田古隆起之上超覆,中泥盆世末深部逆冲断层继承性活动,和田古隆起继承性隆升,使得南侧的志留系—中下泥盆统被剥蚀.上新世早期,沿中寒武统膏盐层发育自南向北大规模的滑脱作用,在玛扎塔格断裂带形成断层传播褶皱,背斜核部遭受了剥蚀,由于断裂带东段活动量相对较小,背斜核部残余了较厚的二叠系.上新世中晚期—第四纪,塔西南前陆盆地接受了大量的沉积,在西昆仑山前发生挠曲沉降,麦盖提斜坡被动掀斜,使得玛扎塔格深部背斜的幅度进一步增大.第四纪,沿古近系底部膏岩层的滑脱断层开始发育,形成了浅层的玛扎塔格构造.

以 C-C' 剖面为代表的中西段,整体演化过程与东段基本一致,不同的是上新世早期沿寒武系膏岩发育的滑脱断层活动量更大,并有向西逐渐增大的趋势,导致了上盘发育的断层传播褶皱的变形更强和抬升更高,断层上盘的剥蚀量更大;同时发育次级反冲断层,使得背斜核部更为复杂(图 6).

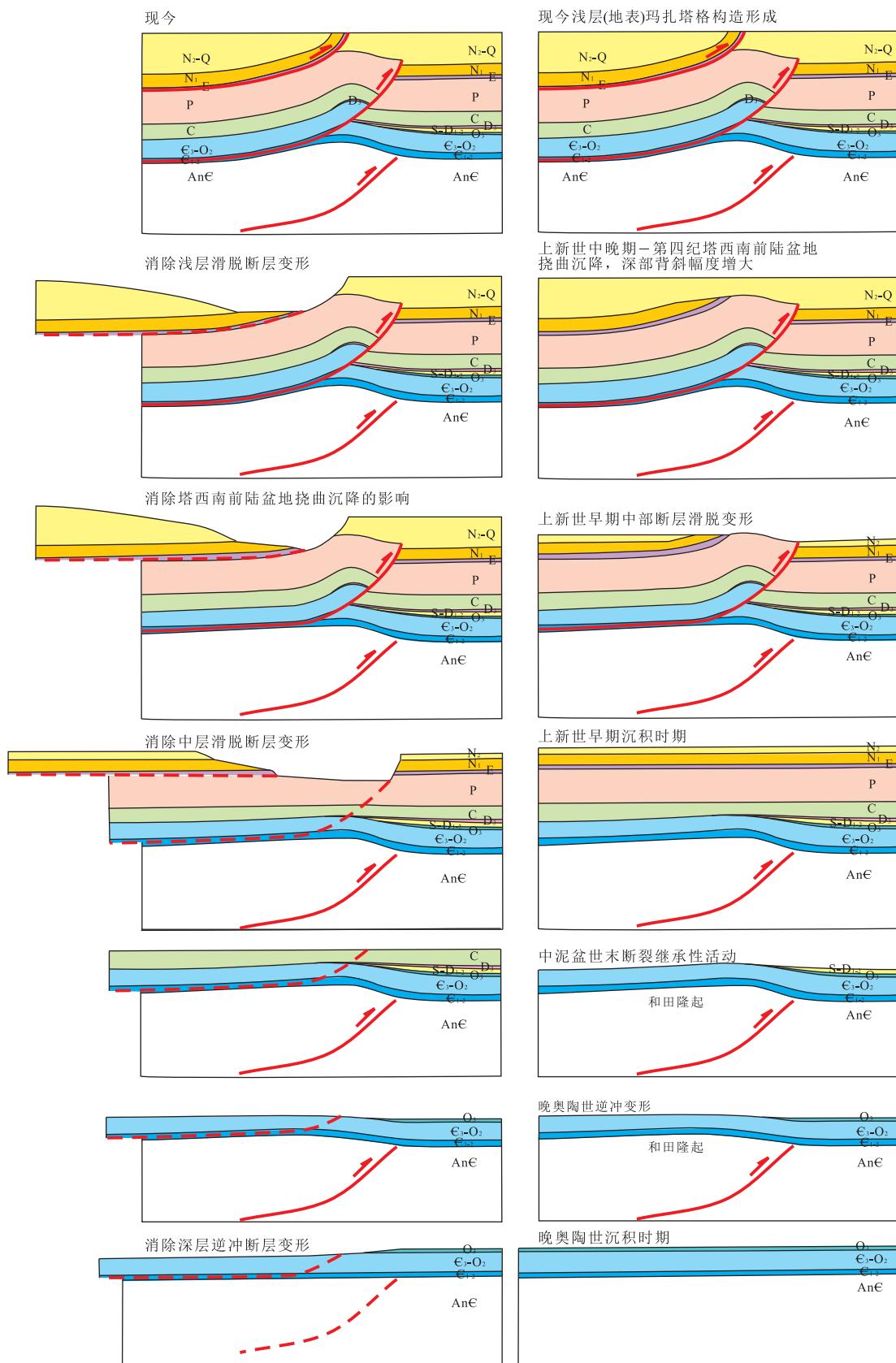


图5 剖面A-A'正反演模式

Fig.5 The results of the structural inverse modeling and the structural forward modeling of the line A-A'
左为反演,右为正演

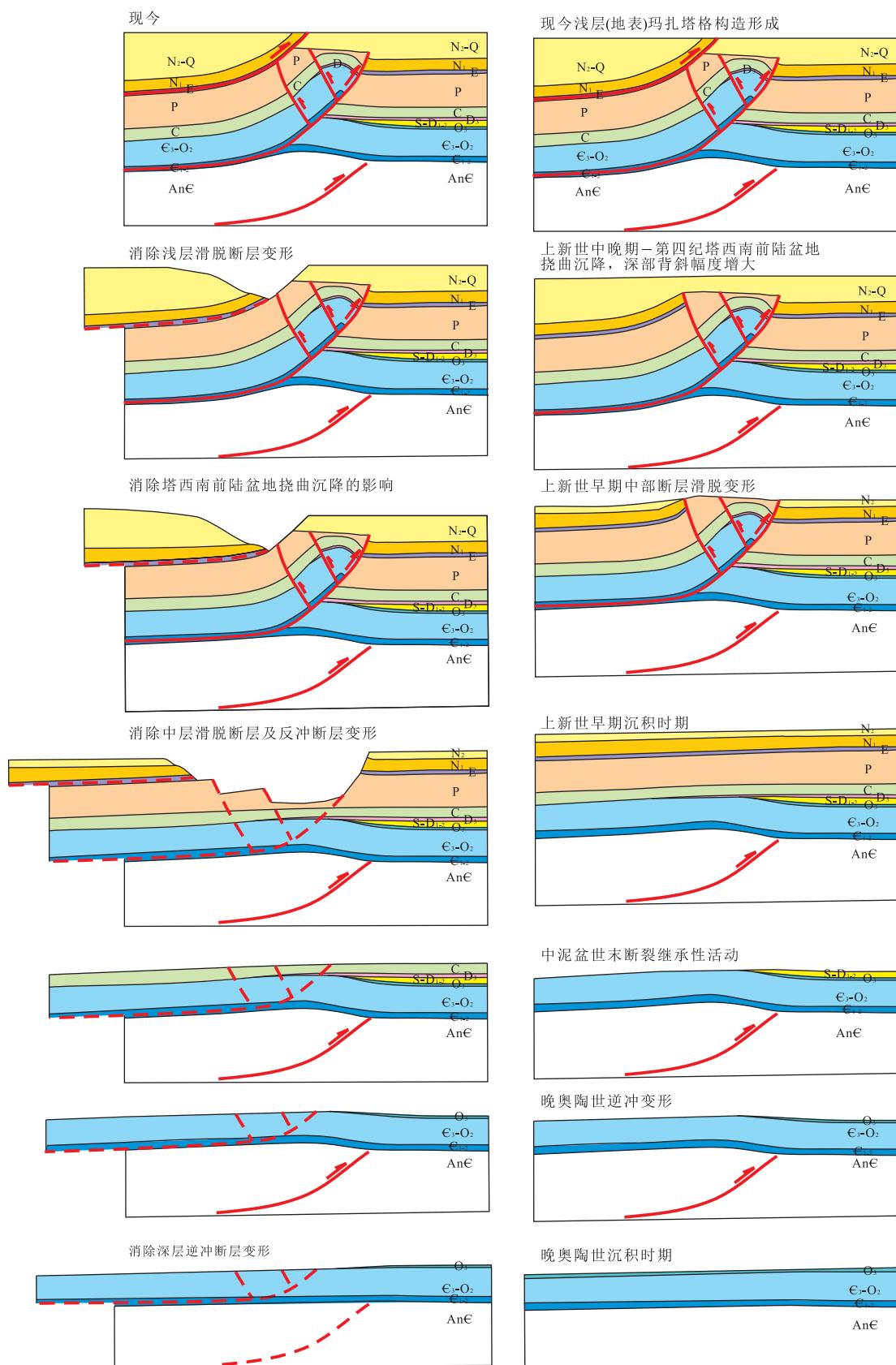


图 6 剖面 C-C' 正反演模式

Fig.6 The results of the structural inverse modeling and the structural forward modeling of the line C-C'
左为反演,右为正演

4 讨论

4.1 玛扎塔格断裂带的活动机制

玛扎塔格断裂带自显生宙以来经历了3期构造变形,这3期构造变形受控于塔里木板块与其他板块的碰撞作用及其周边板块的相互作用。

中奥陶世开始,塔里木板块西南部的库地洋盆洋壳开始向南部的中昆仑地块俯冲消减,洋盆收敛萎缩;到奥陶纪末,库地洋全部关闭,塔里木板块与中昆仑地块发生大规模的碰撞作用,导致塔西南地区发生了强烈的前陆褶皱冲断变形(贾承造等,1997;任建业等,2012;吕明等,2014;邹亚锐等,2014;蔡习尧等,2015)。在这一构造背景下,玛扎塔格断裂带深部发生了NEE向的逆冲。这一构造过程也导致当时北西向塔西南古隆起的形成,奥陶系被大量剥蚀,志留系和早中泥盆统超覆其上,其间发育大型不整合面(林畅松等,2011;邬光辉等,2012)。而玛扎塔格断裂带深部发育的逆冲断层成为塔西南古隆起的北边界,在其上盘发育断弯褶皱,中上奥陶统遭受剥蚀。该期构造事件在区域上也广泛发育,如玛东、塔中和塔北等地区表现褶皱冲断带或古隆起(贾承造,1997;李曰俊等,2008;邬光辉等,2009)。早中泥盆世,塔里木盆地东南东昆仑洋以及阿尔金洋的关闭(丁文龙等,2008),使得塔西南南缘的中昆仑地块与塔里木板块拼合(吕海涛等,2010),塔西南古隆起西段(和田古隆起)继续性活动,形成北东向隆起区(邬光辉等,2012),上泥盆统和石炭系向上超覆。

晚新生代以来,受印度—亚洲板块的持续汇聚作用的远场效应影响(Tapponnier *et al.*, 1982; Yin and Harrison, 2000),天山和昆仑山发生造山抬升,向盆地内部发生大规模的挤压逆冲作用(Yin *et al.*, 2002;杨树锋等,2003;Cao *et al.*, 2014;Chen *et al.*, 2015),帕米尔构造带向北扩展(Sobel *et al.*, 2013),塔里木盆地北缘和西南缘发生沉降(任建业等,2012),导致了塔西南前陆盆地和塔里木北缘前陆盆地的发育。受区域性向北挤压应力的影响,同时受玛扎塔格深部先存构造的制约,玛扎塔格断裂带以南区域发育沿中寒武统膏盐层的滑脱冲断作用,导致了玛扎塔格断裂带中部的断层传播褶皱的发育。同时可能受塔里木盆地西南缘帕米尔构造带大规模向北扩展的影响,导致了玛扎塔格断裂带变形程度的差异,使得玛扎塔格断裂带的中部构造西段逆冲量大于东段,西段的构造抬升剥蚀大于东段,同时也导致了西段发育反冲断层。

随着周围造山带继续强烈抬升和塔里木盆地西南缘的快速大规模沉降,塔里木盆地西南坳陷接受了巨厚的晚新生代同构造沉积。由于塔西南坳陷发育的古近系滑脱层主要是阿尔塔什组的石膏和石膏与泥岩组合,和中寒武统膏盐层不同,属于脆性的滑脱层,而薄层的同沉积并不能诱发脆性滑脱层产生良好的滑脱效果,只有厚的同沉积才能使古近系膏泥岩产生良好的滑脱效果(Wang *et al.*, 2013)。因此,到了第四纪,当晚新生代同沉积达到一定厚度时,古近系的膏泥岩层真正起到滑脱效果,沿古近系膏泥岩层发生了浅层的滑脱冲断作用,在地表形成现今的玛扎塔格山。

4.2 玛扎塔格断裂带变形过程对深层油气成藏的控制

人们在玛扎塔格断裂带1997年发现了麦盖提—巴楚地区已知最大的油气田(藏)—和田河气田,探明天然气储量达616.94亿m³(杨海军等,2007),主要产气层为石炭系巴楚组砂砾岩段、生屑灰岩段和中奥陶统碳酸盐岩潜山岩溶(王招明等,2007)。根据气源对比研究,笔者认为该气藏的主要气源岩为寒武系烃源岩的原油裂解气,并认为气藏主要有3个形成期:晚加里东—早海西期油藏的形成、晚海西期原油裂解天然气的运聚与散失以及喜山期次生天然气藏的形成,其中喜山期是该气田天然气聚集的主要时期(Zhou *et al.*, 2002;王招明等,2007)。2012年塔里木油田在塔中隆起部署的中深1井笔者发现了寒武系盐下白云岩原生油气藏,证实了塔里木盆地寒武系深层具备原生油气藏规模成藏的基本石油地质条件(王招明等,2014)。

除了已经发现的中浅层油气藏外,玛扎塔格断裂带深部构造同样存在发育盐下白云岩原生油气藏的可能性。

和田河气田的发现及其周缘钻井油气显示活跃,表明该地区具备油气源条件。其油气来源于中下寒武统(王招明等,2007)以及可能的新元古界南华系(李勇等,2016)。寒武系盐下肖尔布拉克组白云岩为主要储层段,储层类型以孔洞型、孔隙—孔洞型为主,基质溶孔为辅,为一套优质储集层。

在加里东末期—海西早期,巴楚—麦盖提地区的中下寒武统和南华系烃源岩处于生油高峰(刘高波等,2004;王招明等,2007),同时玛扎塔格断裂带深部的断弯褶皱已经形成(图5,6),为油气储存创造了良好的构造圈闭条件。控制深部构造的逆冲断层可以作为油气运移的通道把下寒武统烃源岩以及

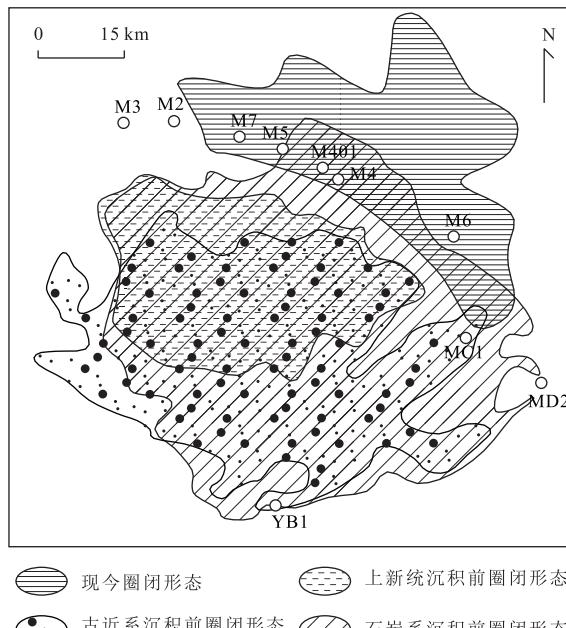


图 7 寒武系盐下圈闭不同时期演化趋势

Fig.7 Evolution trend of Cambrian trap below the salt in different period

可能的新元古界南华系烃源岩中形成的油气向深部背斜核部的寒武系盐下白云岩储集层运移,形成一定规模的古油藏。随后 800~1 000 m 的石炭系沉积物,以及晚海西期即早二叠世末期,塔里木盆地大面积的火山活动,使该区的地温梯度显著升高,促进了寒武系烃源岩的迅速熟化,和田河气田及北部地区下寒武统烃源岩已进入干气阶段,早期形成的下寒武统的古油藏已裂解成了干气,而中寒武统的烃源岩仍处于凝析油及湿气阶段(王招明等,2007)。三叠纪—白垩纪该地区一直处于隆起状态,由于风化剥蚀作用,地温梯度变小。喜山期是中国西部油气成藏的一个重要成藏期(鲁子野等,2015,2016;刘良建等,2016)。在玛扎塔格断裂带的南部由于新生界地层的巨厚沉积,埋藏温度可能急剧升高,具备了发生原油裂解成气的温度条件(王招明等,2007)。该时期也是玛扎塔格浅部构造的形成时期,在石炭系形成了较好的构造圈闭(图 5,6),为浅层的和田河气田次生气藏的形成提供了有利场所。而该时期形成的主要断层——沿中寒武统膏盐层发育的滑脱断层和反冲断裂在玛扎塔格断裂带都没有切穿中寒武统膏盐层,使得深层的背斜圈闭形态得以完整保留。而且晚新生代以来塔西南前陆盆地的挠曲沉降使得玛扎塔格断裂带南部向南倾斜(图 5,6),其深部背斜幅度进一步加大,背斜高点迁移到玛扎塔格及其以北

一带(图 7),这有助于油气向玛扎塔格深部背斜顶部集中。因此,本文认为玛扎塔格断裂带深部背斜构造的盐下白云岩是油气勘探的有利方向。

5 结论

(1) 玛扎塔格断裂带的变形分为上、中、下 3 层结构,分别形成于不同时期,晚期的变形对早期没有产生重要的影响。玛扎塔格断裂带深部背斜构造形成于奥陶纪末—中泥盆世末,受控于深部的逆冲断层,与塔里木板块和中昆仑地块发生大规模的碰撞作用有关。中部构造为沿着中寒武统膏盐层滑脱形成的断层传播褶皱,形成于上新世早期。上层构造(现今地表的玛扎塔格构造)是沿着古近系底部膏岩层滑脱而形成,形成于第四纪。

(2) 玛扎塔格断裂带变形的差异性主要体现在中层构造。从东往西控制中层构造发育的沿着中寒武统膏盐层发育的滑脱断层位移量不断加大,导致其反冲断层的发育及其逆冲量向西的持续增大;同时褶皱核部的剥蚀量也向西持续增加。

(3) 玛扎塔格断裂带深部背斜构造存在发育盐下白云岩原生油气藏的可能。从深部的变形分析看,控制深部构造的逆冲断层可以作为油气运移的通道把下寒武统烃源岩和可能的新元古界南华系烃源岩中形成的油气向深部背斜核部的寒武系盐下白云岩储集层运移,后期的变形没有破坏深部背斜构造圈闭。玛扎塔格断裂带深部背斜构造的盐下白云岩是油气勘探的有利方向。

References

- Cai, X.Y., Zhao, L.N., Li, H.L., et al., 2015. Confirmation and Significance of Lianglitage Formation of Upper Ordovician in Maigaiti Slope, Tarim Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 36(3):351—356 (in Chinese with English abstract).
- Cao, K., Xu, Y.D., Wang, G.C., et al., 2014. Neogene Source-To-Sink Relations between the Pamir and Tarim Basin: Insights from Stratigraphy, Detrital Zircon Geochronology, and Whole-Rock Geochemistry. *The Journal of Geology*, 122(4):433—454. doi:10.1086/676478
- Chen, X.W., Chen, H.L., Cheng, X.G., et al., 2015. Sedimentology and Magnetostratigraphy of the Tierekasazi Cenozoic Section in the Foreland Region of South West Tian Shan in Western China. *Tectonophysics*, 654:156—172. doi:10.1016/j.tecto.2015.05.009

- Ding, W. L., Lin, C. S., Qi, L. X., et al., 2008. Structural Framework and Evolution of Bachu Uplift in Tarim Basin. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 242—252 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Y., Tang, L.J., Y, T.X., et al., 2016. Structural Characteristics and Petroleum Geological Significances of Mazhatage Fault Belt in Tarim Basin. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 38(1): 104—114 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C.Z., 1997. Tectonic Characteristics and Petroleum Tarim Basin China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Li, C.X., Guo, Z.J., 2011. Quantitative Analyses of Late Cenozoic Tectonic Deformation across the Northern Tianshan Foreland. *Chinese Journal of Geology*, 46(3): 709—722 (in Chinese with English abstract).
- Li, K., 2009. The Three Main Paleophigh's Evolution and Affection Hydrocarbon Accumulation, Tarim Basin (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Chen, C., Feng, X.J., et al., 2016. New Discovery of Nanhuai'an Rift System in Southwestern Tarim Basin and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 32(3): 825—832 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y.J., Wu, G. Y., Meng, Q. L., et al., 2008. Active Modes and Mechanisms of the Paleozoic Faultings in Western Tarim. *Chinese Journal of Geology*, 43(4): 727—745 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C.S., Li, S.T., Liu, J.Y., et al., 2011. Tectonic Framework and Paleogeographic Evolution of the Tarim Basin during the Paleozoic Major Evolutionary Stages. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 210—218 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G.B., Shi, Z.J., She, X.Y., 2004. Regional Tectonic Evolution and Distribution of Bachu-Markit. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 31(2): 157—161 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H.T., 2011. The Evolution of the Boundary Fault and the Study of Time-Space Distribution for Bachu in Tarim Basin (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Liu, J.L., Jiang, Z.X., Liu, K. Y., et al., 2016. Fluid Inclusion Characteristics and Hydrocarbon Accumulation Process of Yangtake Area, Kuqa Foreland Basin. *Earth Science*, 41(7): 1188—1197 (in Chinese with English abstract).
- Lu, Z.Y., Chen, H.H., Feng, Y., et al., 2015. Evidences of Multi-Episodically Paleo-Fluid Flow and Its Significance in Ordovician of Guchengxu Uplift, Tarim Basin. *Earth Science*, 40(9): 1529—1537 (in Chinese with English abstract).
- Lu, Z.Y., Chen, H.H., Yun, L., et al., 2016. The Coupling Relationship between Hydrothermal Fluids and the Hydrocarbon Gas Accumulation in Ordovician of Shunnan Gentle Slope, Northern Slope of Tazhong Uplift. *Earth Science*, 41(3): 487—498 (in Chinese with English abstract).
- Lü, H. T., Zhang, Z. P., Shao, Z. B., et al., 2010. Structural Evolution and Exploration Significance of the Early Paleozoic Palaeouplifts in Bachu-Maigaiti Area, the Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 31(1): 76—83, 90 (in Chinese with English abstract).
- Lü, M., Tang, L.J., Yu, T.X., et al., 2014. Palaeotectonic Framework of the Early Paleozoic in Bachu Uplift, Tarim Basin. *Journal of China University of Mining & Technology*, 43(1): 99—106 (in Chinese with English abstract).
- Mitra, S., Namson, J. S., 1989. Equal-Area Balancing. *American Journal of Science*, 289 (5): 563—599. doi: 10.2475/ajs.289.5.563
- Nie, G., 2006. Fault Structural Styles and Evolution of Bachu Uplift of Tarim Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Yang, H. Z., Hu, D. S., et al., 2012. Fault Activity and Its Controlling to Marine Cratonic Breakup in Tarim Basin. *Earth Science*, 37(4): 645—653 (in Chinese with English abstract).
- Shao, L. Y., Luo, W. L., Gu, J. Y., et al., 2007. A Basin-Wide Sequence Stratigraphic Analysis of the Paleogene in Tarim Basin. *Journal of Palaeogeography*, 9(3): 283—292 (in Chinese with English abstract).
- Sobel, E. R., Chen, J., Schoenbohm, L. M., et al., 2013. Oceanic-Style Subduction Controls Late Cenozoic Deformation of the Northern Pamir Orogen. *Earth and Planetary Science Letters*, 363: 204—218. doi: 10.1016/j.epsl.2012.12.009
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Le Dain, A. Y., et al., 1982. Propagating Extrusion Tectonics in Asia: New Insights from Simple Experiments with Plasticine. *Geology*, 10(12): 611. doi: 10.1130/0091-7613(1982)10<611:petian>2.0.co;2
- Wang, C. Y., Chen, H. L., Cheng, X. G., et al., 2013. Evaluating the Role of Syn-Thrusting Sedimentation and Interaction with Frictional Detachment in the Structural Evolution of the SW Tarim Basin, NW China: Insights from Analogue Modeling. *Tectonophysics*, 608: 642—652. doi: 10.1016/j.tecto.2013.08.016
- Wang, Z.M., Wang, Q.H., Zhao, M.J., et al., 2007. Geochemical Characteristics and Accumulation Process of Hetianhe Gas Field in Tarim Basin. *Science China Earth Sciences*, 37(S2): 69—79 (in Chinese).

- Wang, Z. M., Xie, H. W., Chen, Y. Q., et al., 2014. Discovery and Exploration of Cambrian Subsalt Dolomite Original Hydrocarbon Reservoir at Zhongshen-1 Well in Tarim Basin. *China Petroleum Exploration*, 19(2): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. H., Li, H. H., Zhang, L. P., et al., 2012. Reservoir Forming Conditions of the Ordovician Weathering Crust in the Maigaiti Slope, Tarim Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 39(2): 144—153 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. H., Li, Q. M., Xiao, Z. Y., et al., 2009. The Evolution Characteristics of Palaeo-Uplifts in Tarim Basin and Its Exploration Directions for Oil and Gas. *Geotectonica et Metallogenesis*, 33(1): 124—130 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. J., Li, Y. J., Feng, X. J., et al., 2007. Analysis on Thrustings of the Mazhatage Structural Belt in the Tarim Basin. *Chinese Journal of Geology*, 42(3): 506—517 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. Z., 2010. Research on Uplift-Depression Framework Evolution and Its Tectonic Control Mechanism in the Central Uplift Belt, Tarim Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese).
- Yang, S. F., Chen, H. L., Chen, X. G., et al., 2003. Cenozoic Uplifting and Unroofing of Southern Tien Shan, China. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 39(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Tang, L. J., Jiang, H. S., et al., 2014. Characteristics and Deformation Mechanism of Staging Differential Fault Activities in Bachu Uplift, Tarim Basin. *Petroleum Geology and Experiment*, 36(3): 275—284 (in Chinese with English abstract).
- Ye, N., Li, Y. T., Gong, Y. M., et al., 2014. Sequence Stratigraphy of Cambrian in Tarim Basin. *Xinjiang Geology*, 32(4): 487—493 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211—280. doi: 10.1146/annurev.earth.28.1.211
- Yin, A., Rumelhart, P. E., Butler, R., et al., 2002. Tectonic History of the Altyn Tagh Fault System in Northern Tibet Inferred from Cenozoic Sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 114(10): 1257—1295. doi: 10.1130/0016-7606(2002)114<1257:thotat>2.0.co;2
- Zhou, X. Y., Jia, C. Z., Wang, Z. M., et al., 2002. Characteristics of Carbonate Gas Pool and Multistage Gas Pool Formation History of Hetianhe Gas Field, Tarim Basin, Northwest China. *Chinese Science Bulletin*, 47(S1): 146—152. doi: 10.1007/bf02902831
- Zou, Y. R., Ta, J. G. L., Xing, Z. Y., et al., 2014. Evolution of Sedimentary Basins in Tarim during Neoproterozoic-Paleozoic. *Earth Science*, 39(8): 1200—1216 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡习尧,赵丽娜,李慧莉,等,2015.麦盖提斜坡上奥陶统良里塔格组的确认及意义.新疆石油地质,36(3):351—356.
- 丁文龙,林畅松,漆立新,等,2008.塔里木盆地巴楚隆起构造格架及形成演化.地学前缘,15(2):242—252.
- 郭颖,汤良杰,余腾孝,等,2016.塔里木盆地玛扎塔格断裂带构造特征及其油气地质意义.地球科学与环境学报,38(1):104—114.
- 贾承造,1997.中国塔里木盆地构造特征与油气.石油工业出版社.
- 李传新,郭召杰,2011.晚新生代天山北缘构造变形定量研究.地质科学,46(3):709—722.
- 李坤,2009.塔里木盆地三大控油古隆起形成演化与油气成藏关系研究(博士学位论文).成都:成都理工大学.
- 李勇,陈才,冯晓军,等,2016.塔里木盆地西南部南华纪裂谷体系的发现及意义.岩石学报,32(3):825—832.
- 李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等,2008.塔里木西部地区古生代断裂活动的方式和机制.地质科学,43(4):727—745.
- 林畅松,李思田,刘景彦,等,2011.塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化.岩石学报,27(1): 210—218.
- 刘高波,施泽进,余晓宇,2004.巴楚—麦盖提的区域构造演化与油气分布规律.成都理工大学学报(自然科学版),31(2):157—161.
- 刘海涛,2011.塔里木盆地巴楚隆起边界断裂演化及时空分布研究(硕士学位论文).成都:成都理工大学.
- 刘建良,姜振学,刘可禹,等,2016.库车前陆盆地羊塔克地区流体包裹体特征及油气成藏过程.地球科学,41(7): 1188—1197.
- 鲁子野,陈红汉,丰勇,等,2015.塔里木盆地古城墟隆起奥陶系多期古流体活动证据及意义.地球科学,40(9): 1529—1537.
- 鲁子野,陈红汉,云露,等,2016.塔中顺南缓坡奥陶系热流体活动与天然气成藏的耦合关系.地球科学,41(3): 487—498.
- 吕海涛,张仲培,邵志兵,等,2010.塔里木盆地巴楚—麦盖提地区早古生代古隆起的演化及其勘探意义.石油与天然气地质,31(1):76—83,90.
- 吕明,汤良杰,余腾孝,等,2014.塔里木盆地巴楚隆起早古生代古构造格局研究.中国矿业大学学报,43(1): 99—106.
- 聂刚,2006.塔里木盆地巴楚隆起断裂样式及演化过程研究(硕士学位论文).北京:中国地质大学.

- 任建业,阳怀忠,胡德胜,等,2012.塔里木盆地中央隆起带断裂活动及其对海相克拉通解体的作用.地球科学,37(4):645—653.
- 邵龙义,罗文林,顾家裕,等,2007.塔里木盆地古近系层序地层研究.古地理学报,9(3):283—292.
- 王招明,王清华,赵孟军,等,2007.塔里木盆地和田河气田天然气地球化学特征及成藏过程.中国科学(D辑),37:69—79.
- 王招明,谢会文,陈永权,等,2014.塔里木盆地中深1井寒武系盐下白云岩原生油气藏的发现与勘探意义.中国石油勘探,19(2):1—13.
- 邬光辉,李洪辉,张立平,等,2012.塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系风化壳成藏条件.石油勘探与开发,39(2):144—153.
- 邬光辉,李启明,肖中尧,等,2009.塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探.大地构造与成矿学,33(1):124—130.
- 杨海军,李曰俊,冯晓军,等,2007.塔里木盆地玛扎塔格构造带断裂构造分析.地质科学,42(3):506—517.
- 阳怀忠,2010.塔里木盆地中央隆起带隆坳格局变迁及其构造控制机制分析(博士学位论文).武汉:中国地质大学.
- 杨树锋,陈汉林,程晓敢,等,2003.南天山新生代隆升和去顶作用过程.南京大学学报(自然科学版),39(1):1—8.
- 杨勇,汤良杰,蒋华山,等,2014.塔里木盆地巴楚隆起断裂分期差异活动特征及其变形机理.石油实验地质,36(3):275—284.
- 叶宁,李映涛,贡一鸣,等,2014.塔里木盆地寒武系层序地层特征.新疆地质,32(4):487—493.
- 邹亚锐,塔吉古丽,邢作云,等,2014.塔里木新元古代—古生代沉积盆地演化.地球科学,39(8):1200—1216.