

塔里木盆地和田河气田玛扎塔格滑脱背斜构造特征

杨庚^{1,2},李伟^{1,2},陈竹新^{1,2},石昕^{1,2},雷永良^{1,2},王晓波^{1,2}

(1. 中国石油勘探开发研究院,北京,10083; 2. 提高石油采收率国家重点实验室,北京,10083)

摘要:塔里木盆地巴楚隆起南侧的和田河气田是在玛扎塔格构造上发现的典型背斜型气藏。由于该区钻井主要集中在构造核部,钻井深度相对较浅,而构造两翼的地震资料品质较差,因而对该构造出现了多种解释结果。本文依据钻井资料标定,应用断层相关褶皱理论,对该区二维地震剖面测网重新进行详细构造解释。结果表明,玛扎塔格构造主要构造样式为以中寒武统膏岩为滑脱面的滑脱背斜,玛4井东构造样式则为断层扩展褶皱,表明玛4井东存在近南北走向的横向走滑断层,并在地震剖面上得到证实。地震解释结果也证实了玛扎塔格构造西北侧发育的古董山逆冲断层向南东方向延伸进入和田河气田。滑脱褶皱背斜南北两翼发育的中新世—上新世生长地层和第四系角度不整合,表明该构造主要形成时期为中新世—上新世,而且第四纪该构造又重新活动。

关键词:逆冲断层;走滑断层;滑脱背斜;和田河气田;塔里木盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Mazatage detachment anticline in Hetianhe gas field, Tarim Basin, western China

Yang Geng^{1,2}, Li Wei^{1,2}, Chen Zhuxin^{1,2}, Shi Xin^{1,2}, Lei Yongliang^{1,2}, Wang Xiaobo^{1,2}

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, Beijing 100083, China)

Abstract: The Hetianhe gas field is one of the typical anticline gas reservoirs found in Mazatage structural belt of southern Bachu uplift in Tarim Basin. Previous exploration drilling is focused on core of the structure and the depths of exploratory wells are relatively shallow. Moreover, the quality of seismic data acquired on the flanks is poor. Therefore, structural interpretation was high in uncertainty. This paper tried to reinterpret the 2D seismic data based on calibration with drilling data and application of faulting-related fold theory. The result shows that the Mazatage structure is dominated by detachment anticline with the Middle Cambrian gypsum as detachment surface, while the part in the east of well Ma-4 in the structure is a fault-propagation fold, indicating the existence of a near NS-trending transverse strike-slip fault (seismic profile also revealed the same conclusion). Seismic interpretation also indicates that a thrust fault named Gudongshan developed on the northwest flank of the structure extends into the Hetianhe gas field. The Miocene-Pliocene growth strata and Quaternary angular unconformity developed on the south and north flanks in the detached anticline show that the structure was probably formed during the Miocene-Pliocene period and reactivated during the Quaternary.

Key words: thrust fault, strike-slip fault, detached anticline, Hetianhe gas field, Tarim Basin

始新世以来,印度板块与欧亚板块的碰撞及持续挤压作用导致亚洲大陆,特别是中亚地区发生强烈的陆内变形^[1-2],西昆仑山前发生大规模逆冲推覆活动,塔里木盆地内部也发生强烈构造变形,但变形主要集中在巴楚隆起南北边界和内部。北西向的巴楚隆起主要由寒武系—二叠系稳定地台型沉积岩系和新生代陆相碎屑岩地层组成,南部边界以色力布亚—玛扎塔格构造带为界,边界南侧为麦盖提斜坡^[3-5](图1)。

塔里木盆地巴楚隆起南侧的和田河气田是在玛扎塔格构造上发现的典型背斜型气藏,储集层为奥陶系

和石炭系。自西向东依次发育玛8、玛2和玛4三个局部构造,已完钻10口井,探明了天然气地质储量达 $700 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的和田河气田^[6]。和田河气田由五个碳酸盐岩气藏组成,玛2、玛4和玛8号构造为石炭系生物屑灰岩气藏,玛8和玛4号构造为奥陶系潜山气藏^[7]。构造带走向大约为近东西—北西向(图1),南北宽约5 km,东西长约90 km。构造带南翼出露地表地层为古近系和新近系^[8],核部和北翼则被第四系所覆盖。

前人对玛扎塔格构造带做过很多工作,主要集中在以下几个方面:一是沉积学和地层学研究^[9-16],但

收稿日期:2014-02-31;修订日期:2014-12-31。

第一作者简介:杨庚(1965—),男,博士、高级工程师,构造地质与盆地构造研究。E-mail: yanggeng@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05003-002);中石油股份公司科技专项(2014B-0407)。

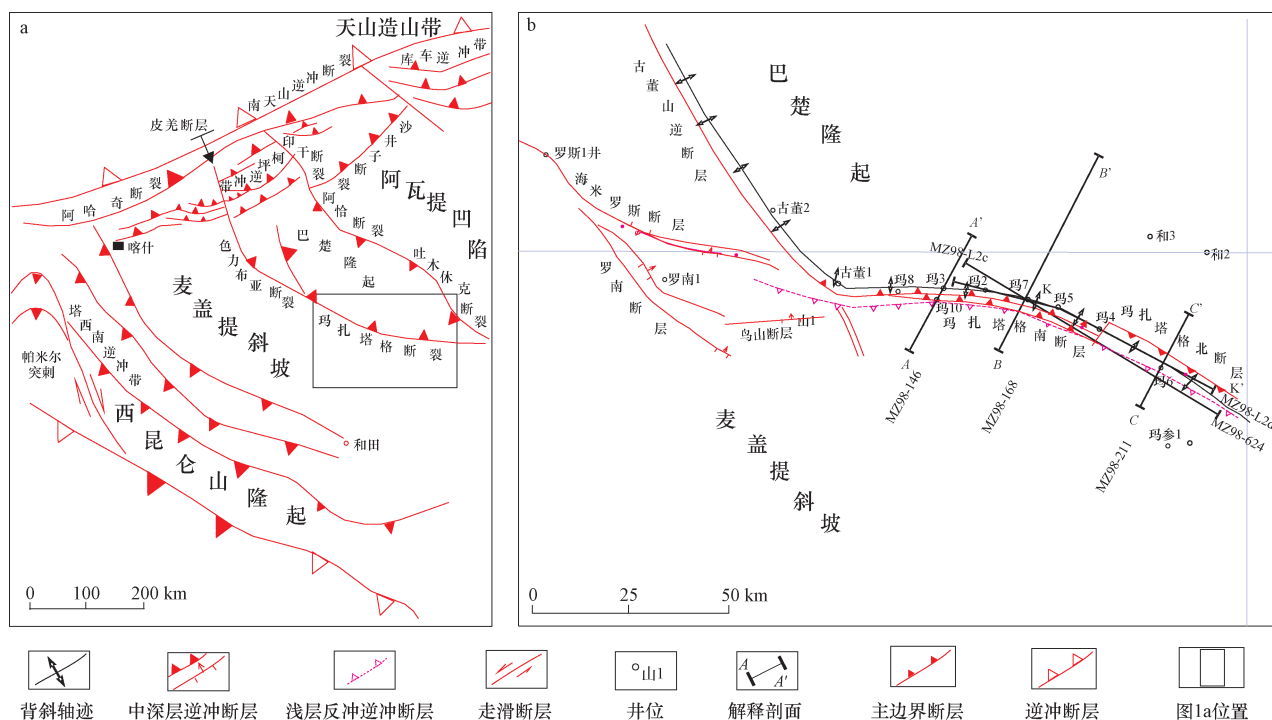


图1 塔里木西南缘区域构造 a) 和巴楚隆起玛扎塔格背斜及其逆冲断层构造分布 b)

Fig. 1 Sketch map showing (a) simplified tectonic map of the northwest margin and (b) thrust faults in the Mazatage anticline in the Bachu uplift in the Tarim Basin

并未涉及构造变形特征;二是应用地球物理资料等研究麻扎塔格构造带的深部构造变形特征^[16-20],提出玛扎塔格构造带是一条基底卷入型的断裂构造带,由近乎平行的玛扎塔格南断裂和玛扎塔格北断裂构成;三是油气地质特征研究^[16,21-26];四是地貌学^[15]、沉积环境^[27]和古地磁方面研究^[28]。

以上研究一致认为:玛扎塔格地区南部发育沿古近系底部膏盐层(T_8),由麦盖提斜坡向巴楚隆起方向冲断的逆冲断层,该逆冲断层形成时代为更新世-全新世。由于气田的探井主要集中在背斜核部,钻井深度相对较浅,南北两翼地震反射波组杂乱,品质较差,因而对该区构造出现多种解释结果,即对构造样式和形成时间认识不一致,并存在以下问题:①玛扎塔格构造南北向较窄,东西走向延伸较长,其构造样式是什么?②北西向古董山逆冲断层与近东西向玛扎塔格构造带关系;③玛扎塔格构造带走向从西向东,在玛3井附近由近东西走向转变为近北西走向,在玛4井附近又从近北西走向转变为近北西走向(图1),构造走向上变化机制是什么?为了解决以上存在问题,本次研究主要依据断层相关褶皱理论,应用钻井资料重新对围绕该构造带主体的二维地震测网进行了构造解释,解决了以上问题并得出了一系列新的认识。

1 玛扎塔格滑脱背斜构造模式

浅层构造层次上,玛扎塔格地区表现为一系列新

生界南倾的单斜层,而在中-深构造层次,南北方向较为狭窄的玛扎塔格构造为近东西向延伸,表现近似隔挡式褶皱。地震资料清楚地显示出该区前寒武系基底反射波组平直,未卷入构造变形;古生代和新生代地层反射波组在该构造两翼杂乱,向南北两侧方向变缓。因此,该区卷入变形主要以古生代和新生代地层为主。这些特征说明该构造变形主要发生在前寒武基底面之上,为典型滑脱褶皱特征。

1.1 滑脱背斜基底

巴楚隆起属于塔里木陆块的一部分,具有前寒武系结晶基底。钻井和地震资料证实,构造带北侧的基底埋深小于南侧的基底埋深,南北两侧基底面埋深有约600~800 m落差。一般北侧基底埋深为5 200 m,南侧基底埋深为6 000 m,这可能反映深层存在基底正断层。区域构造分析表明,中奥陶世-志留纪塔里木盆地西南部由被动陆缘转化为主动陆缘,在和田古隆起北缘——现今和田河气田南侧发育南倾的正断层^[29],造成该区基底埋深南北差异,说明玛扎塔格滑脱褶皱构造的滑脱面不是较平直的一个平面,而是南深北浅的台阶状。

1.2 滑脱背斜卷入地层

钻井资料给出玛扎塔格背斜北翼奥陶系底界平均埋深达4 200 m,如和4井给出奥陶系底埋深为4 290 m;背斜核部奥陶系底界平均埋深约2 500~2 800 m,背

斜南翼奥陶系底界平均埋深约 4 800 ~ 5 000 m。地震资料同样显示出玛扎塔格构造背斜下、中寒武统一第四系卷入构造变形,南北翼的同时代地层之间埋深存在落差。早古生代地层为一套稳定的台地相碳酸盐岩、含磷硅质岩或细碎屑岩沉积,缺失志留系和泥盆系。石炭系以碎屑岩-碳酸盐岩为主,发育有屑灰岩;下-中二叠统为火山岩-碎屑岩建造,上二叠统碎屑岩为磨拉石建造,基本上缺失中生界和部分古近系;新近系的厚度也远远小于两侧的西南坳陷和阿瓦提凹陷,整个隆起被第四纪地层不整合覆盖。古生界中部厚,边部因剥蚀而减薄。

玛扎塔格构造带的钻井资料清楚地显示,该带自上而下发育的地层有:第四系、新近系、古近系、中-下二叠统、石炭系和奥陶系;缺失中生界、泥盆系和志留系(图 2)。塔里木油田分公司钻井标定给出地震反射层 T_g^8 相当于震旦系底界反射,与下伏更老基岩呈不整合接触。 T_g^7 反射层相当于寒武系底界反射,与下伏震旦系或基岩呈不整合接触,为区域性不整合面。 $T_g^{6'}$ 反射层相当于中寒武统膏岩底界反射; T_g^6 反射层相当于中寒武统膏岩顶界反射。 $T_g^{5'}$ 反射层相当于中、上奥陶

统底界反射;地震反射层 $T_g^{2'}$ (石炭系底界)为区域不整合界面,志留系和泥盆系在本区被剥蚀,石炭系直接覆盖在奥陶系之上^[30]; T_g 反射层相当于上二叠统底界反射,与下伏下二叠统呈不整合接触,为区域性不整合面,分布在巴楚凸起的北东部; T_8 反射层相当于古近系底界反射,为区域性不整合面; T_6 反射层相当于新近系安居安组底界反射,层序特征为由北向南加厚的楔状地层层序; T_5 反射层相当于新近系帕科布拉克组底界反射,与下伏地层呈平行不整合接触; T_3 反射层相当于上新统阿图什组底界反射; T_2 反射层相当于第四系底界反射。

1.3 滑脱背斜的滑脱层

巴楚隆起中-下寒武统广泛分布膏盐岩,其岩性主要为泥岩和膏泥岩,一般膏盐岩厚度在 200 m 左右,最厚处近千米。据同 1、方 1、和 4 及 1 井统计,膏盐岩累计厚度分别为 150,179,158 及 193 m,为该区构造的主滑脱层。玛扎塔格构造南侧的玛参 1 井钻探证实该区发育两套滑脱层(图 2)。古近系滑脱层主要分布于麦盖提斜坡和巴楚隆起的南缘。和 3 井古近系厚 66 m,

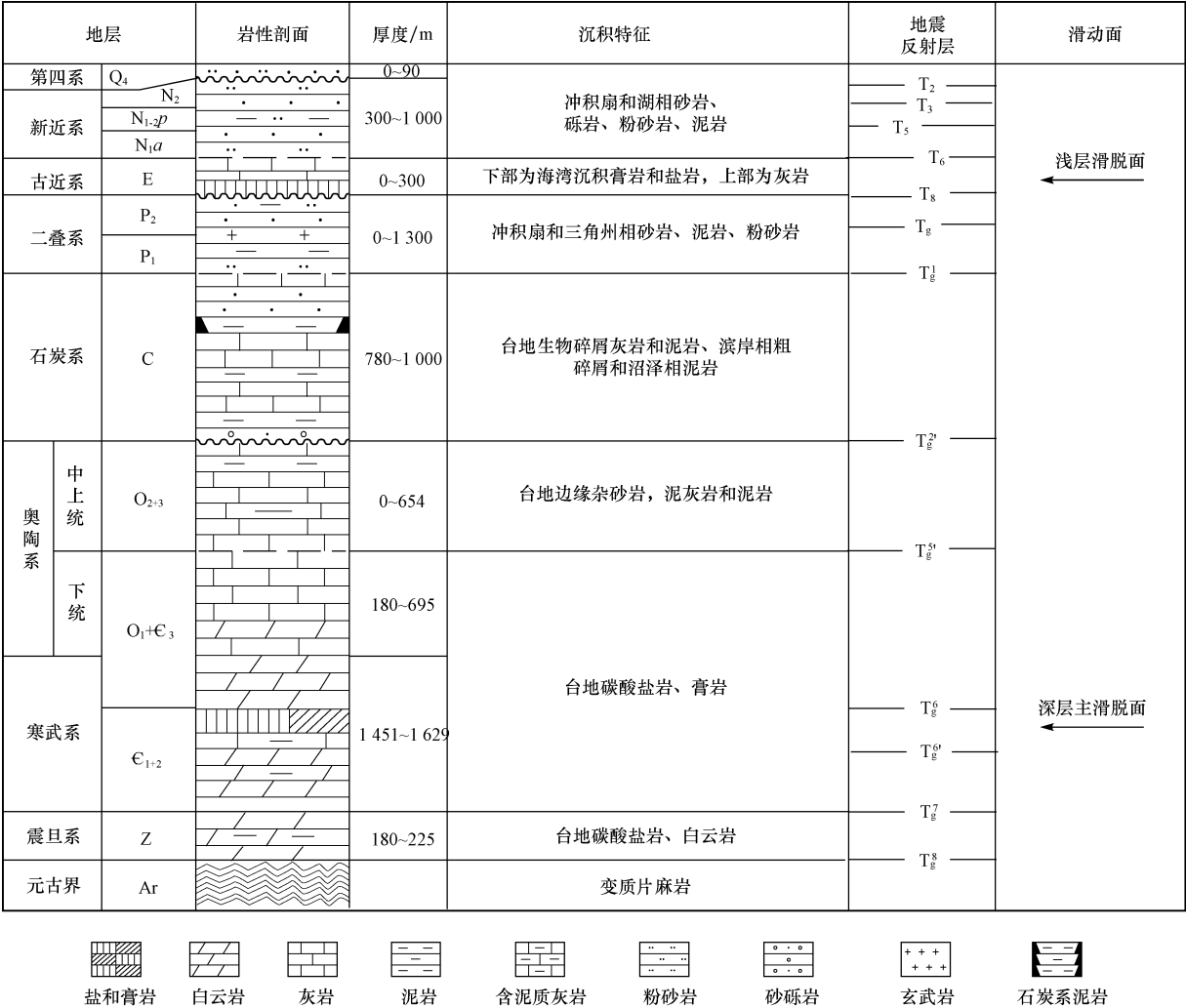


图 2 塔里木盆地玛扎塔格背斜地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of the Mazatage anticline

为白色石膏夹褐色、灰色泥岩及膏质泥岩。山1井和玛参1井也揭示了这套地层。

2 玛扎塔格构造带滑脱褶皱解释

2.1 构造样式

平面上大致以古董1井为界,以西地区发育古董山逆冲断层和逆冲席体,玛扎塔格构造带西部与古董山构造带相接,东部延伸止于玛东构造带。在玛3井附近构造走向由北东方向转变变为近东西向走向,在玛4井附近则完全变为北西走向,但总体走向呈北西,呈略向北北东凸出的舒缓弧状(图1)。

地震测线MZ98-130位于古董1井东侧,横穿鸟山构造和古董山逆冲构造(图3)。图的左侧给出鸟山浅表构造样式,为玛扎塔格反冲断层沿古近纪膏岩逆冲,导致古近系一新近系向北逆冲并露出地表(地表形迹见图1a),形成地貌上的玛扎塔格山,其地面高程平均海拔约1 000 m。本文认为鸟山构造也为一滑脱褶皱,依据寒武系一二叠系的地震波组错断特征,该构造深层还存在两条逆冲断层:最南侧逆冲断层错断波组层位应从寒武系底一直到二叠系顶,上为古近系不整

合覆盖;另一条逆冲断层发育在中寒武统膏岩中,发育断层扩展褶皱,褶皱南翼狭窄,地层倾角较陡,北翼宽缓,地层倾角相对较缓。

古董山逆冲断层延伸约50 km,该断层倾角上小下大,为铲形样式,倾角一般为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。在古董2井以西附近,古董山逆冲断层沿中寒武统膏盐岩层发育,将奥陶系推至地表剥蚀,水平推移距离最大可达6 km^[31],也有研究者认为可达20 km^[32]。大部分横穿该断层的地震剖面都显示出古董山逆冲断层上盘地层为中-上寒武统、奥陶系、石炭系和二叠系,向南逆冲。在图3中显示出古董山逆冲断层后翼发育古近系-中新世生长地层,并被第四系不整合覆盖,为单个逆冲席体(图3右侧)。地震剖面也显示出古董山逆冲断层北侧存在连续向北倾的北翼反射波组和平缓背斜核部,古董山逆冲断层南侧下盘存在向南倾反射波组和比较窄的背斜核部,说明早已存在的滑脱背斜被晚期古董山逆冲断层破坏,滑脱背斜的滑脱面应为中寒武统的膏盐层。滑脱背斜构造南翼和核部较为完整,背斜北翼为古董山逆冲断层及逆冲席体。平面上,玛扎塔格构造带西段构造缩短由该滑脱背斜和鸟山滑脱背斜组成。古董1井以东地区为玛扎塔格构造带,北西走向的古董山逆冲断层快速转变为近东西走向延伸进入玛扎塔格构造带。

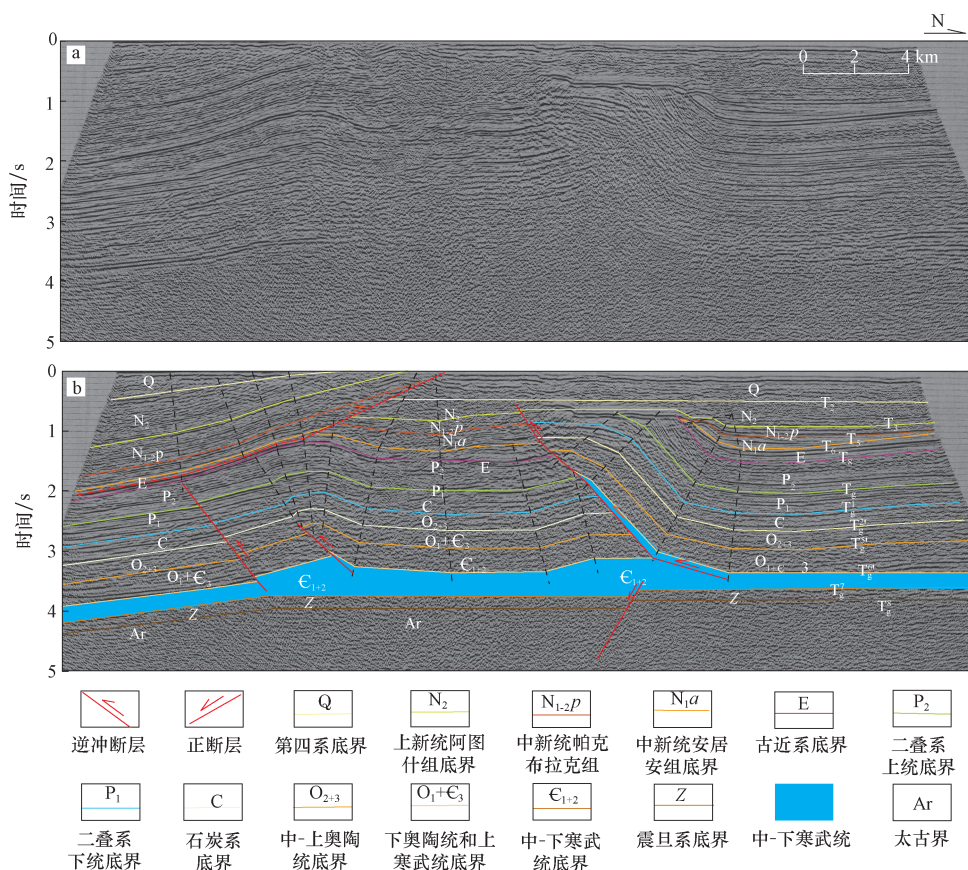


图3 塔里木盆地 MZ98-130 地震测线时间剖面

Fig. 3 Time section of line MZ98-130 in Tarim Basin

a. 未解释剖面; b. 解释剖面

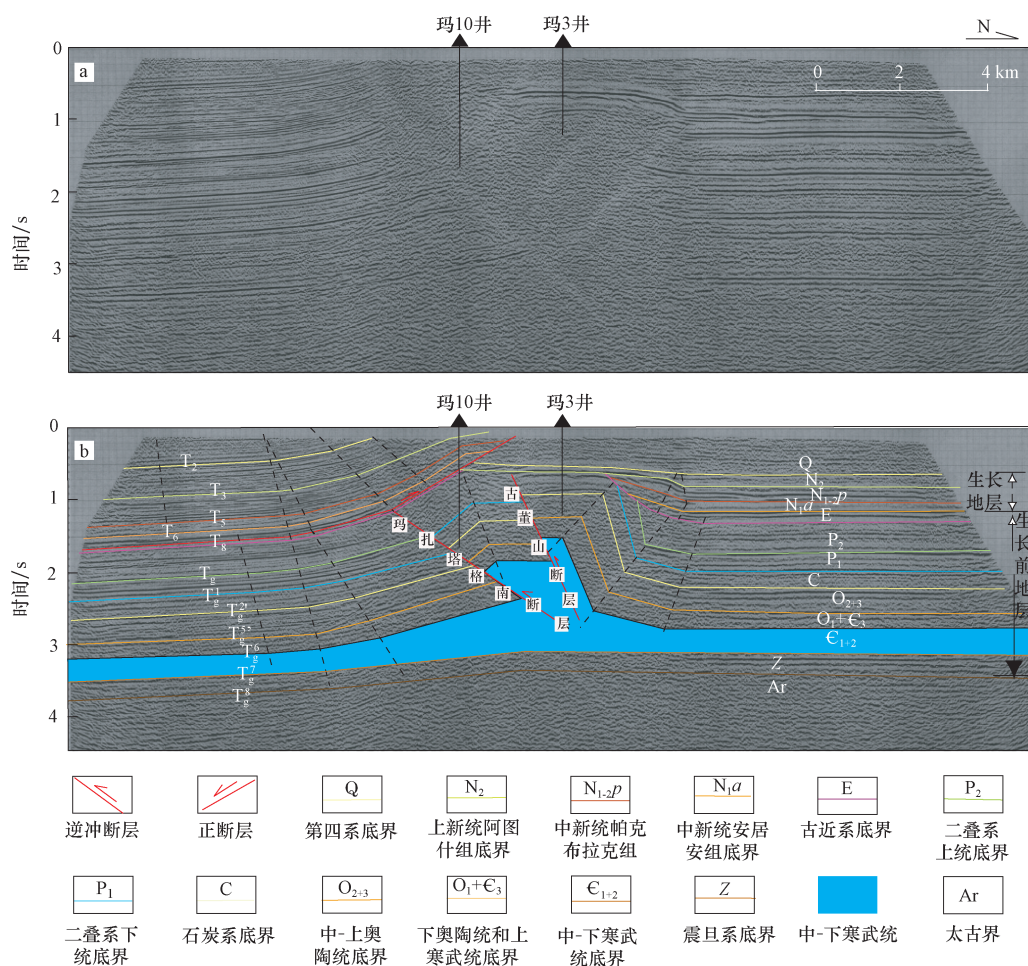


图4 塔里木盆地 MZ98-146 地震测线时间剖面

Fig. 4 Time section of line MZ98-146 in Tarim Basin

a. 未解释剖面; b. 解释剖面

地震测线 MZ98-146 南北向横穿玛扎塔格主构造(图4),其地震波组特征清楚地显示出玛扎塔格背斜南翼和北翼地震波组反射也比较杂乱,推测其为地层较陡所致;背斜核部地震波组反射较平缓,反映地层相对较平缓。过该测线的井有玛3和玛10井。其中玛3井位于玛扎塔格背斜核部,井底地层为上奥陶统(井深1688 m),玛10井位于背斜南翼,井底为上奥陶统(井深4200 m)。玛10井的地层倾角测井证实其钻遇的奥陶系—石炭系,其地层倾向南,倾角约在 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$,与该井附近的地震反射波组倾向南相一致。玛10井下二叠统相对玛3井较为齐全,石炭系—奥陶系倾角相对陡倾,说明两井之间存在一条逆冲断层造成地层缺失。根据逆冲断层平面展布,认为该逆冲断层为古董山逆冲断层。而玛10井南侧和更深部位的古生界地震反射波组表现相对平缓,与玛10井钻遇地震反射波组相比,这两个地震反射波组之间存在一条逆冲断层,命名为玛扎塔格南逆冲断层(图1)。

前人也曾在玛扎塔格背斜南翼解释出一条逆冲断层,并命名为玛扎塔格南逆冲断层,但从平面展布上该断层与古董山逆冲断层基本相重合(图1)^[6],为同一

条逆冲断层,只是名字不同而已;在玛扎塔格背斜北翼反射杂乱处解释为一条逆冲断层——玛扎塔格北断层,向北逆冲^[7]。本次解释认为背斜北翼地震反射波组杂乱,是由于北翼地层倾角较陡造成的,不是断层作用结果,也有研究者认为是膝褶带^[33]。证据有三:一是地震联络测线显示背斜北翼存在向北倾斜的反射波组(见图7地震剖面西侧地震反射波组);二是从测线 MZ98-130 依次向东到测线 MZ98-146,背斜北翼连续存在,不存在向北逆冲断层造成地震波组错断;三是该背斜北翼发育有中新世和上新世生长地层,生长地层反射特征支持下伏存在向南逆冲的逆断层^[34]。与图3(MZ98-130)不同,图4(MZ98-146)解释为玛扎塔格南断层造成玛扎塔格滑脱背斜陡倾地层逆冲在平缓地层之上,古董山逆冲断层造成玛扎塔格背斜核部逆冲在陡倾南翼地层之间(图3)。

地震测线 MZ98-168 位于和田河气田中部(图5)。玛7井位于玛扎塔格构造核部,钻遇第四系、石炭系和奥陶系,缺失新近系和二叠系。图5也展示出玛扎塔格构造南翼狭窄,北翼较长,核部平缓特点。古董

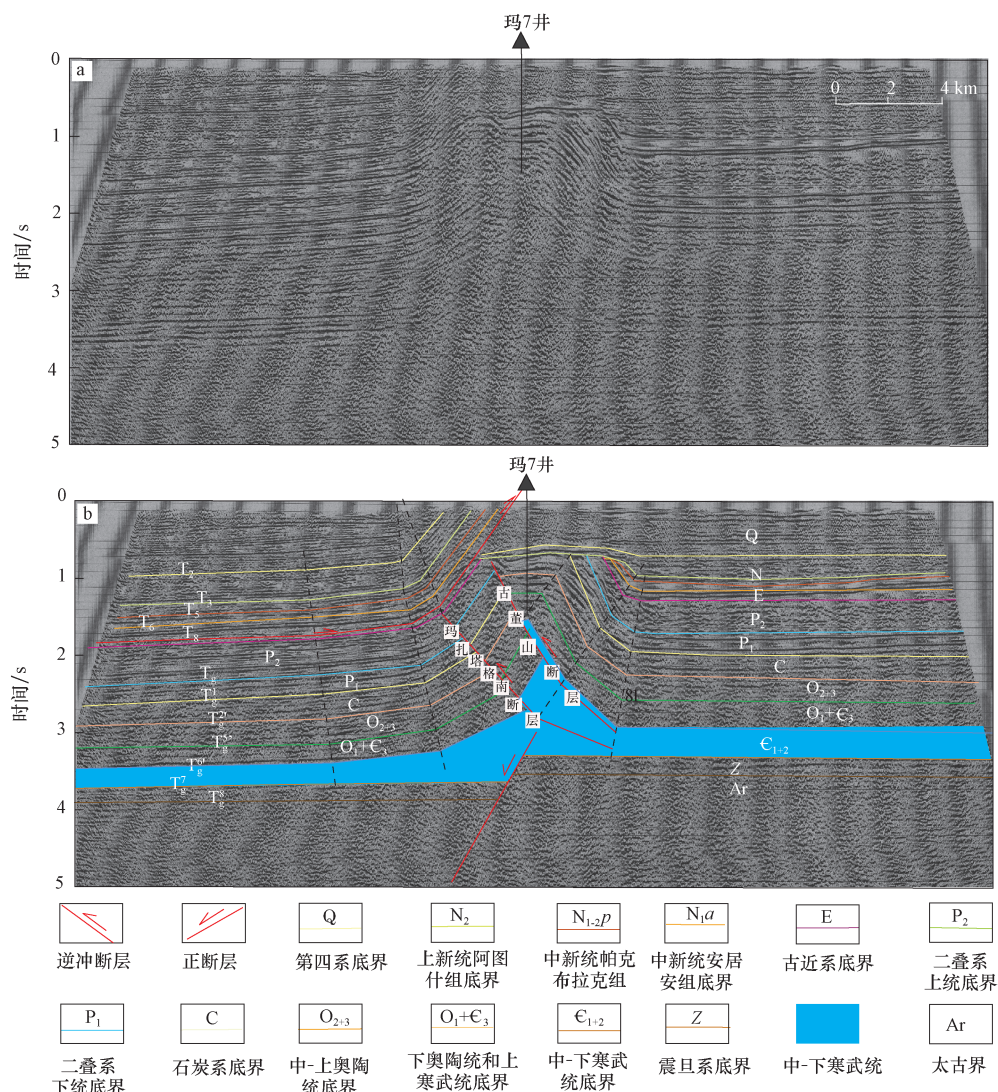


图5 塔里木盆地 MZ98-168 地震测线时间剖面

Fig. 5 Time section of line MZ98-168 in Tarim Basin

a. 未解释剖面; b. 解释剖面

山逆冲断层造成背斜核部平缓地层逆冲在背斜南翼陡倾地层之上,玛扎塔格南断层造成背斜南翼陡倾地层逆冲于更南侧的缓倾地层之上。连续多个南北向地震测线构造解释,表明玛扎塔格背斜北翼地层南北宽度向东逐渐变窄,背斜南翼陡倾地层变窄,背斜核部地层相对变宽,同时这两条逆冲断层之间的间距向东也有逐渐减小趋势。

如果单纯以古董山逆冲断层的断距分析来看,图3地震测线显示断距最大,图4和图5地震测线显示的逆冲断层断距变化不大。根据二维地震测网追踪和玛10井钻探成果,认为古董山逆冲断层延伸进入玛扎塔格背斜南翼,造成背斜南翼出现陡倾翼部的古生界埋深浅于翼部平缓的古生界埋深(图4),这样古董山逆冲断层成为和田河气田的南部边界。

2.2 和田河气田东侧的玛扎塔格构造样式

与前面地震测线显示的玛扎塔格构造样式明显不

同,玛4井以东玛扎塔格背斜北翼较狭窄,地震反射波组杂乱,推测其地层倾角较陡,南翼地震波组清楚,相对比较宽缓。依据断层相关褶皱理论^[35],该类地震反射波组特征组合,表现为典型的断层扩展褶皱样式特征,推测该背斜北翼下伏存在一条向北逆冲的逆冲断层,称之为玛扎塔格北逆冲断层。代表性的地震测线 MZ98-211 清楚地展示出(图6):①背斜南翼浅层发育有一条沿古近系膏岩滑脱,向北逆冲的逆冲断层;②玛扎塔格背斜为一典型与玛扎塔格北逆冲断层相关的扩展褶皱,古生界向北逆冲在下伏地层之上;③该逆冲断层和玛扎塔格褶皱被古近系不整合覆盖,核部的二叠系被剥蚀,古近系—第四系表现为顶薄翼厚的生长地层特征;④背斜南北两翼基底面埋深相差不大,未发现明显错断基底的正断层。该测线向东、相邻的其它南北向地震剖面均显示出该背斜向东倾伏,背斜幅度向东逐渐降低,玛扎塔格北逆冲断层断距逐渐减小,南北方向构造缩短量也相应减小。

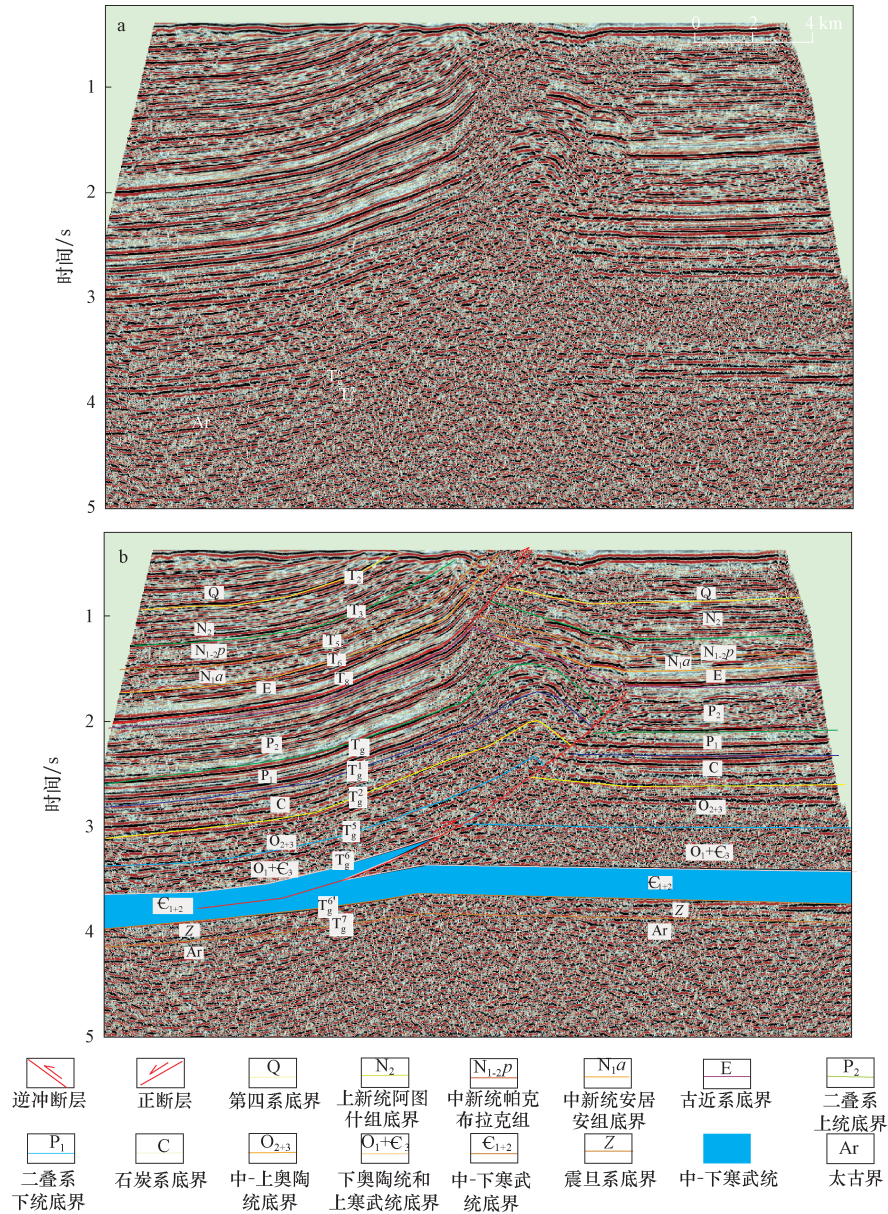


图6 塔里木盆地玛扎塔格构造东 MZ98-211 地震测线时间剖面

Fig. 6 Time section of line MZ98-211 in Tarim Basin

a. 未解释剖面; b. 解释剖面

2.3 玛扎塔格构造带形成时间

地震剖面 MZ98-146 和 MZ98-168 (图4, 图5) 均显示出古近系以角度不整合覆盖在古生界之上, 而且该角度不整合面也发生了褶皱作用, 玛扎塔格滑脱背斜后翼 (北翼) 发育中新世—上新世生长地层楔。生长地层楔的几何形态, 说明构造隆升速率小于地层沉积速率^[36]。中新世早期和末期为滑脱褶皱发育时期, 上新世为中深层逆冲断层发育时期。玛扎塔格地区沿古近系底部的膏盐层发育一条沿麦盖提斜坡向巴楚隆起冲断的逆断层^[20], 该断层逆冲于玛南断层之上, 将古近系冲出地表, 构成玛扎塔格山。图3和图4均展示了玛扎塔格背斜北翼存在三个生长地层楔 T_5-T_6 , T_3-T_5 和 T_2-T_3 , 说明该滑脱背斜存在古近

纪—新近纪发育的生长地层, 形成时代可为三期: 中新世、上新世和第四纪, 构造主要形成于中新世。钻井揭示上新世地层的顶部厚度平均为 500 m, 翼部地层厚度以 600 m, 中新统和古近系总厚达 900 m。

玛扎塔格构造南侧的玛参 1 井钻遇新近系厚 131 m, 而北侧的和 2 井钻遇新近系厚 43 m, 存在明显的南厚北薄现象, 指示现今的巴楚隆起在中新世—上新世之间明显发生了构造活动。从玛扎塔格断裂带两侧沉积特征上看, 早—晚古近纪和新近纪的构造运动存在显著的差别。第四纪晚期昆仑山的巨大逆掩推覆构造作用, 造成巴楚隆起南缘的玛扎塔格背斜南翼以古近系膏岩为滑脱面的一个向北逆冲的逆掩断层 (图3—图5)。图3—图6展示出玛扎塔格背斜南翼发育一条沿古近系膏岩层为滑脱面的玛扎塔格逆冲断层, 向北方向逆冲,

逆冲断层上盘卷入变形地层为古近系一新近系,为逆冲在第四系沉积物之上的一个冲断席体。

研究表明,和田河气田成藏期为中新世(12 Ma),仅从生烃期与成藏期的匹配关系判断,该气田应主要捕获寒武系烃源岩晚期高-过成熟阶段所生天然气,属干酪根裂解气^[37]。地震剖面显示塔里木盆地第四纪沉积基准面从南到北基本上差别不大,说明塔里木盆地在第四纪基本上无构造应力作用。Dupont^[28]和Sun^[38]等曾对麻扎塔格最东端和田河西岸的新生代剖面进行了古地磁研究,发现该地区磁偏角发生了 $15.3^{\circ} \pm 6.7^{\circ}$ 的顺时针旋转,并将其解释为局部的构造运动造成了麻扎塔格的向北弧形突出;并通过磁性地层学研究限定出该剖面的时代为10~2.6 Ma,并根据剖面中风成砂岩出现的时代推测塔克拉玛干沙漠在7 Ma以前就已经形成。

4 玛扎塔格构造讨论

变形空间几何关系研究可看出,玛扎塔格构造背

斜核部高点地层与基底之间和构造两翼与基底地层之间存在高差,如果用两翼发育逆冲断层来解释,就会出现变形空间不协调问题,东西方向的二维地震剖面联络线(图7)表现最为清楚。可见,和田河气田东侧的玛扎塔格构造之间的高差较小,可简单解释为玛扎塔格北逆冲断层向北扩展的断层扩展褶皱。

从平面空间展布上看(图1),玛扎塔格构造带在古董1井和玛2井之间的构造走向为近东西方向,玛2井和玛4井之间的构造走向为近北西西方向;玛4井以东的构造走向为北西方向。而且,以玛4井为界,东西两侧的玛扎塔格构造样式差别较大。玛4井以西玛扎塔格构造样式为发育向南逆冲断层和盐滑脱褶皱,以东主要构造样式为向北逆冲断层和断层扩展褶皱,表明在玛4井附近存在导致构造样式发生突变的横向构造。平行玛扎塔格构造带走向,基本上沿背斜高点的横向地震联络测线——地震剖面MZ98-L2d(图7),其西部拼接剖面走向为近北西西走向,东部拼接剖面近东西走向,清楚显示出横向连续的地震反射同相轴在玛4井东侧附近断续发育,在浅部0~1.5 s波组凹向深部方

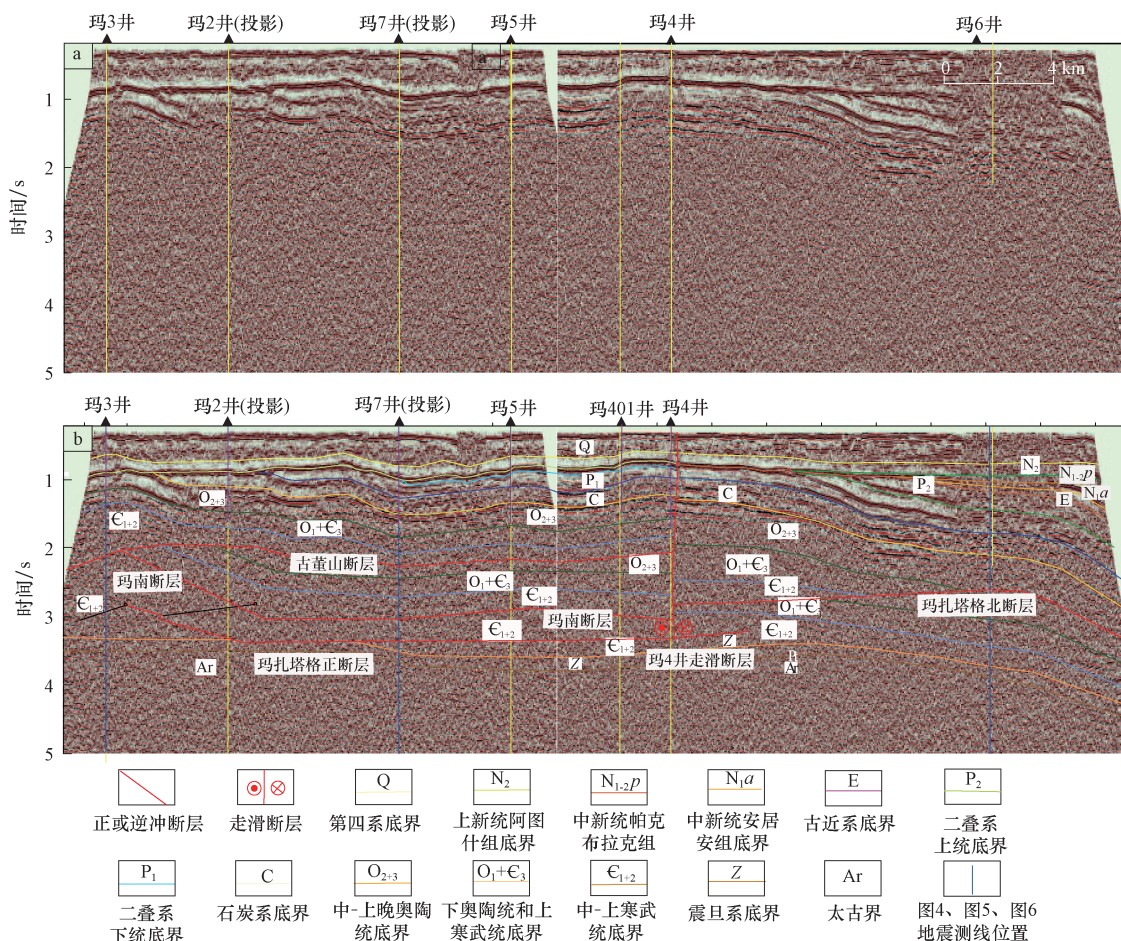


图7 塔里木盆地 MZ98-L2d 地震测线时间剖面

Fig. 7 Time section of line MZ98-L2d in Tarim Basin

a. 未解释剖面; b. 解释剖面

(蓝线为前面展示的地震剖面测线,分别为剖面 MZ98-146, MZ98-168 和 MZ98-211。)

向最为明显,导致石炭系—二叠系和中新统、第四系反射波组不连续和局部上下错位。认为玛4井东几百米发育一条近南北向的走滑断层——玛扎塔格走滑断层(图7b),其他的横向地震剖面展示出类似的反射特征。剖面MZ98-L2d在双程反射时间1.5 s之下,该走滑断层造成玛4井东西两侧的震旦系、寒武系—奥陶系底部反射波组和正断层、逆冲断层横向不连续性更为明显(图7b),说明该走滑断层形成时间至少与玛扎塔格正断层同时,后期又发生了多次活动。和田河气田向东延伸截至在玛扎塔格走滑断层上。

5 结论

1) 玛扎塔格构造为一滑脱背斜,该构造西北侧发育的古董山逆冲断层向南东方向延伸,作为背斜核部逆冲断层并入该构造带内。

2) 整个构造在玛4井附近分东西两段:西段发育向南逆冲的古董山逆冲断层和玛扎塔格南逆冲断层,东段发育向北逆冲的玛扎塔格北逆冲断层。

3) 玛4井东侧附近发育近南北走向横向走滑断层,为和田河气田东部边界,并控制了玛扎塔格构造中深层构造样式。

参 考 文 献

- [1] Tapponnier P, Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tian Shan, Mongolia, and Baykal regions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1979, 84: 3425–3459.
- [2] Tapponnier P, Peltzner G, Armijo R. On the mechanism of the collision between India and Asia, in Coward M P, Ries A C, eds., *Collision Tectonics*[M]. Spec. Pub. Geological Society of London, 1986: 115–157.
- [3] 郑显华. 塔里木盆地西部巴楚—麦盖提地区石油地质特征及勘探建议[J]. *石油实验地质*, 1995, 17(2): 114–120.
Zheng Xianhua. Petroleum geological characteristics of and exploration proposals to Bachu—Maigaiti area of the west Tarim basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1995, 17(2): 114–120.
- [4] 谢晓安, 胡素云, 卢华复. 探讨塔里木盆地巴楚的正反转构造[J]. *地质论评*, 1998, 44(1): 1–6.
Xie Xiaohan, Hu Suyun, Lu Huaifu. Positive inversion structure in the Bachu Fault-Uplift in the Tarim Basin[J]. *Geological Review*, 1998, 44(1): 1–6.
- [5] 何文渊, 李江海, 钱祥麟. 塔里木盆地巴楚断隆中新生代的构造演化[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36(7): 539–546.
He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin. The Meso—Cenozoic evolution of Bachu Fault—Uplift in Tarim Basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2000, 36(7): 539–546.
- [6] 周新源, 贾承造, 王招明, 等. 和田河气田碳酸盐岩气藏特征及多期成藏史[J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊): 131–136.
Zhou Xinyuan, Jia Chengzao, Wang Zhaoming, et al. Characteristics of carbonate gas pool and multistage gaspool formation history of Hetianhe gas field, Tarim Basin, Northwest China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(Supp.): 146–152.
- [7] 王招明, 王清华, 王媛. 塔里木盆地和田河气田成藏条件及控制因素[J]. *海相油气地质*, 2000, 5(1–2): 124–132.
Wang Zhaoming, Wang Qinghua, Wang Yuan. Conditions and controlling factors of hydrocarbon accumulation of Hetianhe Gas Field, Tarim Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2000, 5(1–2): 124–132.
- [8] 潘家伟, 李海兵, 孙知明, 等. 塔里木盆地中南部麻扎塔格逆冲—褶皱带变形特征及其意义[J]. *地质科学*, 2010, 45(4): 1038–1056.
Pan Jiawei, Li Haibing, Sun Zhiming, et al. Deformation features of the Mazartagh fold thrust belt, south central Tarim Basin and its tectonic significances[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(4): 1038–1056.
- [9] 新疆区域地层[M]. 北京: 地质出版社, 1981: 1–488.
Xinjiang regional stratigraphy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981: 1–488.
- [10] 雍天寿, 单金榜, 王诗伦. 玛扎塔格山区的几个地质问题兼谈塔克拉玛干大沙漠形成的地质时代[J]. *新疆石油地质*, 1983, 1(4): 1–9.
Yong Tianshou, Shan Jinbang, Wang Shiyao. Several geological questions in Mazartagh area and the formation time of Taklamagan desert[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1983, (4): 1–9.
- [11] 雍天寿, 单金榜, 魏景明. 古特提斯海北支塔里木古海湾岩相古地理[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1–129.
Yong Tianshou, Shan Jinbang, Wei Jingming. Lithofacies and Paleogeography in the ancient Tarim Bay, north part of the Paleotethys Ocean[M]. Beijing: Science Press, 1989: 1–129.
- [12] 刘万祥. 塔里木盆地西南地区上下第三系的接触关系与乌恰群时代归属[J]. *新疆石油地质*, 1990, 11(1): 20–24.
Liu Wanxiang. Contact relationship between Upper and Lower Tertiary and age ownership of Wuqia Group in southwest depression of Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1990, 11(1): 20–24.
- [13] 杨逸畴, 陆绵华. 塔克拉玛干沙漠中玛扎塔格山的形成及其地理意义[J]. *地理研究*, 1990, 9(3): 24–32.
Yang Yichou, Lu Jinhua. The formation of Mt. Mazatage in the Taklamagan desert and its geographical significance[J]. *Geographical Research*, 1990, 9(3): 24–32.
- [14] 杨逸畴, 周兴佳, 赵景峰, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地两处高地的地质地貌对比研究—玛扎塔格山和北明丰隆起[J]. *干旱区研究*, 1993, 10(3): 10–15.
Yang Yichou, Zhou Xingjia, Zhao Jingfeng, et al. Comparing research of geology and geomorphology of two highlands (Mazar Tagh and north Minfeng upheaval) in the interior of Taklimakan desert[J]. *Arid Zone Research*, 1993, 10(3): 10–15.
- [15] 王跃, 董光荣, 王贵勇, 等. 麻扎塔格山隆起的时代、形式、幅度及意义[J]. *中国沙漠*, 1995, 15(1): 42–48.
Wang Yue, Dong Guangrong, Wang Guiyong et al. A discussion on the Mountain uplift and its effect[J]. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(1): 42–48.
- [16] 杨威, 王清华, 赵仁德, 等. 和田河气田奥陶系碳酸盐岩裂缝[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(3): 252–255.
Yang Wei, Wang Qinghua, Zhao Rende, et al. Fracture of Ordovician carbonate rocks in Hetian River gas field[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(3): 252–255.

- [17] 胡望水,陈毓遂,肖安成,等.塔里木色力布亚—玛扎塔格断裂系与油气[J].新疆地质,1996,14(1):61-68.
Hu Wangshui, Chen Yusui, Xiao Ancheng, et al. Deformation of Selibuya Mazartag fault system in Tarim and its relation with oil gas [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(1): 61-68.
- [18] 胡望水,陈毓遂,肖安成,等.塔西南坳陷主要断裂带构造特征及其控油作用.新疆石油地质,1997,18(3):201-207.
Hu Wangshui, Chen Yusui, Xiao Ancheng, et al. Structural features of major fault zones in the southwest depression in Tarim Basin and their control on oil accumulation [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(3): 201-207.
- [19] 肖安成,杨树锋,李曰俊,等.塔里木盆地巴楚隆起断裂系统主要形成时代的新认识[J].地质科学,2005,40(2):291-302.
Xiao Ancheng, Yang Shufeng, Li Yuejun, et al. Main period for creation of fracture system in the Bachu Uplift, Tarim Basin [J]. Chinese Journal Geology, 2005, 40(2): 291-302.
- [20] 杨海军,李曰俊,冯晓军,等.塔里木盆地玛扎塔格构造带断裂构造分析[J].地质科学,2007,42(3):506-517.
Yang Haijun, Li Yuejun, Feng Xiaojun, et al. Analysis on thrustings of the Mazhatage structural belt in the Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(3): 506-517.
- [21] 刘高波,施泽进,余晓宇.巴楚—麦盖提的区域构造演化与油气分布规律[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(2):157-161.
Liu Gaobo, Shi Zejin and She Xiaoyu. Regional tectonic evolution and oil—gas distribution of Bachu—Markit [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 2004, 31(2): 157-161.
- [22] 秦胜飞,贾承造,李梅.和田河气田天然气东西部差异及原因[J].石油勘探与开发,2002,29(5):16-18.
Qin Shengfei, Jia Chengzao, Li Mei. The difference in geochemical characteristics of natural gases between eastern and western parts in Hetianhe gasfield of Tarim Basin and its origin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(5): 16-18.
- [23] 秦胜飞,邹才能,戴金星,等.塔里木盆地和田河气田水溶气成藏过程[J].石油勘探与开发,2006,33(3):282-288.
Qin Shengfei, Zou Caineng, Dai Jinxing, et al. Water-soluble gas accumulation process of Hetianhe gasfield in tarim basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 282-288.
- [24] 付建奎,张光亚,马郡,等.塔里木盆地巴楚地区构造样式与演化[J].石油勘探与开发,1999,26(5):10-11.
Fu Jiankui, Zhang Guangya, Ma Jun, et al. The structural styles and evolution of Bachu region Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(5): 10-11.
- [25] 李吉君,卢双舫,薛海涛,等.和田河气田天然气运聚效率及源区探讨[J].石油学报,2002,30(3):347-353.
Li Jijun, Lu Shuangfang, Xue Haitao, et al. A study on the migration and accumulation efficiency and the source area of natural gas in Hetianhe Gas Field of Tarim Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2002, 30(3): 347-353.
- [26] 邹光辉,朱海燕,张立平,等.和田河气田奥陶系碳酸盐岩气藏类型再认识及其意义[J].天然气工业,2011,31(07):5-10.
Wu Guanghui, Zhu Haiyan, Zhang Liping, et al. Recognition and its significance of the Ordovician carbonate reservoir types of the Hetianhe Gas Field, Tarim Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(07): 5-10.
- [27] 司家亮,李海兵,裴军令,等.塔里木盆地玛扎塔格第四纪沉积环境演变及构造学意义[J].岩石学报,2011,27(1):321-332.
Si Jialiang, Li Haibing, Pei Junling, et al. Sedimentary environment variation and its tectonic significance of Mazar Tagh in the middle Tarim basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 321-332.
- [28] Dupont-Nivet G, Gun Z, Butler R, et al. Discordant paleomagnetic direction in Miocene rocks from the central Tarim Basin: Evidence for local deformation and inclination shallowing [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 199(3~4): 473-482.
- [29] 汤良杰.塔里木盆地演化 and 构造样式[M].北京:地质出版社,1996:1-136.
Tang Liangjie. Evolution and tectonic patterns of Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-136.
- [30] 李洪辉,邹光辉,王洪江,等.塔里木盆地和田河气田周缘构造演化、成藏与勘探领域[J].现代地质,2009,23(4):587-594.
Li Honghui, Wu Guanghui, Wang Hongjiang, et al. Structural evolution, reservoir-forming and exploration field of peripheral area of the Hetianhe Gas Field in Tarim Basin [J]. Geoscience, 2009, 23(4): 587-594.
- [31] 赵明,王华,余腾孝,等.巴楚断隆西段古董山构造带断层封堵性与油气成藏的关系[J].中南大学学报(自然科学版),2009,40(4):1099-1105.
Zhao Ming, Wang Hua, Yu Tengxiao, et al. Relationship between sealing characteristics of Gudongshan tectonic belt and hydrocarbon accumulation in west part of Bachu fault-rift area [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2009, 40(4): 1099-1105.
- [32] 杨勇,汤良杰,岳淑娟,等.塔里木盆地巴楚隆起古董山断裂带构造特征及活动时代[J].石油与天然气地质,2014,35(1):116-123.
Yang Yong, Tang Liangjie, Yue Shujuan, et al. Structural characteristics and active ages of the Gudongshan fault belt in Bachu uplift, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 116-123.
- [33] 王毅,张仲培,张波,等.塔里木盆地巴楚地区大型膝褶带的发现及油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2014,35(6):914-949.
Wang Yi, Zhang Zhongpei, Zhang Bo, et al. Discovery of large kink band structures and petroleum exploration implications in Bachu area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 914-949.
- [34] Shaw J, Connors, Suppe J. Seismic interpretation of contractional fault-related folds, an AAPG seismic atlas studies in geology #53 [M]. Published by The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, U. S. A. 2004: 1-156.
- [35] Suppe J, Medwedeff D A. Geometry and kinematics of fault-propagation folding [J]. Eclog Geol Helv, 1990, 83: 409-454.
- [36] Suppe J, Chou G T, Hook S P. Rates of folding and faulting determined from growth strata [M]. London: Chapman & Hall, 1992: 105-121.
- [37] 崔景伟,王铁冠,胡健,等.塔里木盆地和田河气田轻质油成熟度判定及其油源意义[J].石油与天然气地质,2013,34(1):27-35.
Cui Jingwei, Wang Tieguan, Hu Jian, et al. 2013. Maturity of light oil and its significance in indicating oil source in Hetianhe gas field, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 27-35.
- [38] Sun J M, Zhang Z Q, Zhang LY. New evidence on the age of the Taklimakan desert [J]. Geology, 2009, 37(2): 159-162.