

塔里木盆地西部巴楚断隆南界断裂带的主要特征和构造演化

张洪安¹, 吴根耀², 李曰俊², 钱一雄¹, 蔡习尧¹, 孟庆龙¹

ZHANG Hong-an¹, WU Gen-yao², LI Yue-jun²,

QIAN Yi-xiong¹, CAI Xi-yao¹, MENG Qing-long¹

1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. *Research Institute of Exploration and Development, Northwest Oilfield Branch, China Petroleum and Chemical Corp., Ürümqi 830011, Xinjiang, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

摘要:塔里木西部巴楚断隆的南界断裂带晚中生代开始形成,内部结构十分复杂。在逐条介绍各断裂特征的基础上综述了该断裂带的主要几何学和运动学特征。该断裂带经历了白垩纪、中新(—上新)世和更新(—全新)世 3 期重大的冲断,前者与巴楚断隆北界断裂的演化不同步,后者则与北界断裂带同步发育。白垩纪、更新(—全新)世的向北冲断与西昆仑山前褶皱冲断系的向北扩展有关,中新(—上新)世的向南(西)冲断受南天山褶皱冲断系向南扩展的制约。这 3 期冲断都伴有剪切变换构造发育,尤其是白垩纪的北西向右行走滑断裂,在造就南界断裂带的分段性和复杂面貌中起了重要作用。

关键词:冲断构造;剪切变换构造;“盆”“山”耦合;白垩纪—新生代;巴楚断隆

中图分类号:P542^{+.3}

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)10-1547-10

Zhang H A, Wu G Y, Li Y J, Qian Y X, Cai X Y, Meng Q L. Main features and structural evolution of southern boundary fractural zone of the Bachu fault—rise in western Tarim Basin. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(10):1547–1556

Abstract: The Bachu fault—rise is a sub—order tectonic unit of the Tarim Basin, and its southern boundary, created since Late Mesozoic, is a complicated fractural zone. Based on a brief introduction to each fault, this paper synthetically described main geometric and kinematic characteristics of the southern boundary fractural zone. The fractural zone experienced three major thrusting events, which occurred in Cretaceous, Miocene (—Pliocene) and Pleistocene (—Holocene) respectively. The Cretaceous thrusting was developed only along the southern boundary, and the northern boundary, such as the Tumxuk fracture, acted as a boundary between the Bachu fault—rise and the Awati sag in Jurassic—Cretaceous, instead of thrusting. The Cenozoic thrusting events synchronously occurred along both the southern and northern boundary fractural zones of the Bachu fault—rise. An analysis of basin—orogenesis coupling reveals that the northward thrusting in Cretaceous and Pleistocene (—Holocene) should have been related to northward expansion of the foreland fold—and—thrust belt of West Kunlun, while the south (west)ward thrusting in Miocene (—Pliocene) might have been coupled with southward expansion of the South Tianshan fold—and—thrust belt. All of the three generations of thrusting were accompanied by the shearing fractures, which made up a transfer zone in the thrusting system. The Cretaceous NW—trending dextral strike—slipping fractures played an important role in the segmentation and complication of the southern boundary fractural zone of the Bachu fault—rise.

Key words: thrusting structure; shearing transfer structure; basin—orogenesis coupling; Cretaceous—Cenozoic; Bachu fault—rise

收稿日期:2010-07-16;修订日期:2011-09-06

资助项目:国家自然科学基金项目《西南天山石炭纪沉积序列、古地理格局及其对关键构造事件和过程的反映》(批准号:40972085)、国家“973”项目《中国西部典型叠合盆地盆山作用与复杂构造圈闭形成演化》(编号:2006CB 202301) 和国家科技重大专项《塔里木盆地深层碳酸盐岩的断裂—裂隙体系与裂缝型储集体分布规律》(编号:2008ZX05008-063-001)

作者简介:张洪安(1965—),男,高级工程师,石油地质专业。E-mail:zhangha645@sina.com

通讯作者:吴根耀(1946—),男,研究员,博士生导师,从事区域大地构造研究与“盆山耦合”分析。E-mail: wugenyaoy@mail.igcas.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

巴楚断隆位于塔里木西部,其北侧和南侧分别是北部拗陷的阿瓦提凹陷和西南拗陷的麦盖提斜坡。巴楚断隆是塔里木盆地的一个次级构造单元,四周均以断裂带为边界,尤以南界断裂带发育为好(图1)。南界断裂带是一条由近东西向断裂和近北西向断裂组成的复杂断裂带,东段走向近东西,西段走向近北西。这些断裂(带)不仅蕴含了区域构造演化的大量信息,也直接控制了油气的成藏和保存。本文拟在解释大量地震资料的基础上,先自东向西逐条断裂描述其主要的几何学和运动学特征,然后将南界断裂带作为一个整体叙述其演化史,总结其构造样式,并以“盆”“山”耦合为指导,探讨其活动的动力学背景。

1 地震剖面解释

1.1 玛扎塔格断裂带(F₁₁)

该断裂带自东向西由北西西向转为近东西向,在其西段已发现和田河气田。前人已对该断裂带进行了较详细的研究并区分出了3期活动^[1-2]。本文要强调的是这3期冲断活动的冲断方向和影响层位各不相同。白垩纪活动的是玛扎塔格深部断裂(图2左上的F_{Tg7}),向北冲断,向下延伸收敛于T_{g7}界面(中一下寒武统膏盐层的底面),向上延伸止于T₈界面(新生界的底面)。中新世活动的是以玛南断裂(图2左上的F_{MN}和F_{MN(b)})为主干断裂的冲断层,向南冲断,其背冲断层玛北断裂(F_{MB})则向北冲断,它们向

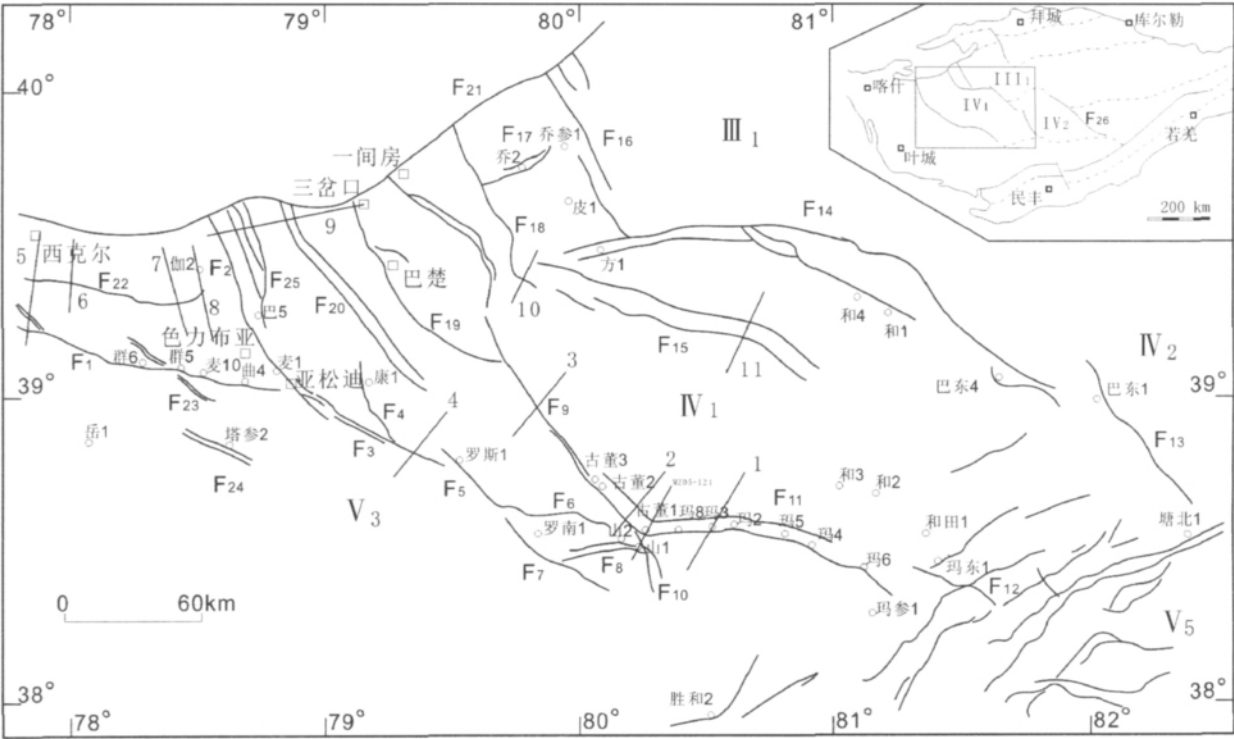


图1 巴楚断隆的边界断裂、主要的块内断裂和文中涉及的地震剖面的位置

Fig. 1 Boundary fractures,main intra-block faults and localities of seismic profiles mentioned in the paper of the Bachu fault-rise

断裂带名称:F₁—巴什托普;F₂—色力布亚;F₃—康西;F₄—康塔库木;F₅—海米塔格;F₆—罗斯塔格;F₇—沙垅;F₈—鸟山;F₉—古董山;F₁₀—鸟山东;F₁₁—玛扎塔格;F₁₂—玛东;F₁₃—巴东(吐木休克 号);F₁₄—吐木休克;F₁₅—卡拉沙依;F₁₆—阿恰;F₁₇—乔来买提西;F₁₈—一间房;F₁₉—三岔口;F₂₀—曲许盖;F₂₁—柯坪塔格;F₂₂—阔什拉克;F₂₃—巴西;F₂₄—塔参2井南;F₂₅—同岗;F₂₆—塔中 号。
构造单元名称: 1—阿瓦提凹陷; 1—巴楚断隆; 2—塔中隆起; 3—麦盖提斜坡; 5—塘沽孜巴斯凹陷。数字代表的地震剖面名称:1—MZ97-148(图2左上,据参考文献[1]);2—MZ98-112(图2右上);3—B97-83(图2左下);4—MX93-220(图2右下);5—TB98-06(图4左上);6—KP02-683(图4右上);7—TB93-11(图4左下);8—TB92-02(图4右下);9—TB92-12(图5上);10—MZ96-39(图5左下);11—MZ95-116N(图5右下)

下延伸切入前寒武系,向上延伸止于 T_3 界面(上新统阿图什组的底面),控制了中新世玛扎塔格(山)的形成。更新(—全新)世活动的是玛扎塔格浅部断裂(F_{T8}),向北冲断,向下延伸收敛于 T_8 界面,向上冲出地表。

1.2 古董山断裂带(F_9)

古董山断裂带一直被认为是巴楚断隆内部的断裂,走向北西,其西北端始自瓦基里塔格山,东南与玛扎塔格断裂带的西端交会(两者连成一体)。该断裂带可分成 2 段。东南段是基底卷入型冲断层,有 2 条地震剖面控制: MZ98-96 和 MZ98-112。前者所见的断裂形态与通过山 1 井和古董 1 井的 MZ05-124 剖面(见杨海军等^①的图 4 右上)基本一致,即主干断裂 F_8 (向南西冲断)和背冲断裂 F_9 (向北东冲断)向下延伸都穿过 T_{g7} 界面而进入前寒武系,上延则止于 T_3 界面,略有不同的是向南西冲的低级别断层(F_{10})已经消失(图略)。位于 MZ05-124 剖面西北约 10km 的 MZ98-112 地震剖面(图 2 右上)揭示该断裂带具有下列特征:①仅主干断裂(F_8)切穿了 T_{g7} 界面,背冲断层(F_9)仅切入下古生界,未穿过 T_{g7} 界面。② F_8 和 F_9 夹持的背斜构造已变得宽缓。这说明古董山断裂带向北西延伸活动强度明显减弱。

该断裂的北西段有 B97-63 和 B97-83 地震剖面通过。在这 2 条剖面上(图 2 左下),古董山断裂是向南西冲断的一条断层(F_8),倾角较缓,向下延伸收敛于 T_{g6} 界面(中—下寒武统膏盐层的顶面),向上延伸止于 T_3 界面,表明冲断发生在中新世。换言之,该断裂带在中新世与玛扎塔格断裂带有相同的组合和活动方式,其主干断裂 F_8 南延连玛南断裂,背冲断层 F_9 南延连玛北断裂。在 B97-83 剖面(图 2 左下)上还可看到有 2 条向北东倾且切穿了 T_{g6} 界面的隐伏断裂,向上延伸止于 T_6 界面(中—上奥陶统的底面),应是早加里东期活动的冲断层,与沙垅断裂(参阅杨海军等^①和赵岩等^②的文献)属同一断裂构造系。

1.3 康塔库木断裂(F_4)

玛扎塔格以西的海米—罗斯塔格和乌山地区的断裂构造较复杂,据已有研究^{①②}可简述如下。海米—罗斯塔格断裂带和乌山断裂带都由深部断裂和浅部断裂组成,活动方式和时间见下述。乌山断裂带以北的乌山北断层(图 3)是中新世的右行走滑断裂。乌山东断裂主要在白垩纪活动。沙垅断裂是早加里东

期的冲断层,现已分为 2 段:东南段后期稳定,西北段(乌山断裂带以北)则在白垩纪再次发生冲断,且因次级断层(含背冲断层)的发育而成为相对开阔的断裂构造带。

海米—罗斯塔格以西的康塔库木断裂的东南段呈北西走向(块缘断裂),西北段(巴楚断隆的块内断裂)为北北西向。其形态较古董山断裂简单,空间发育稳定。在 MX93-220 地震剖面上(图 2 右下)只见一条断裂,断层面相对平直,向北东陡倾,向下延伸切穿 T_{g7} 界面进入前寒武系,向上延伸止于 T_3 界面。断层下盘吉迪克组(N_j)和康村组(N_{1-2k})发育较好,上盘则缺失这 2 个组的地层, T_5 界面(康村组底面)已遭断裂破坏,阿图什组(N_{2a})与下伏地层间为不整合接触。这说明该断裂的冲断活动时间可从中新世延续到上新世早期。

康塔库木断裂以西原称的色力布亚断裂带已解体为 2 条断裂。原西北段仍称色力布亚断裂,中新世向南西冲断,其次级构造同岗断裂上新世仍有背冲活动。原东南段另行命名为康西断裂,加里东期活动,之后康西断裂的东段长期稳定,西段在白垩纪活动过(图 3)。整条断裂在更新世复活(形成康西浅部断裂)^③。

1.4 阔什拉克断裂(F_{22})

巴楚断隆南界断裂带最西端的 2 条断裂分别称巴什托普(群苦恰克)断裂和阔什拉克(卧里托乎拉克)断裂。前者已有研究,认为它曾是巴楚断隆的南界断裂,因南天山冲断带向南扩展时(始自始新世晚期,中新世达到高潮^④)该断裂不活动,巴楚断隆南界的西段才北移至色力布亚断裂^⑤。对阔什拉克断裂选择 4 条典型的地震剖面进行了研究。TB98-06 地震测线(图 4 左上)通过了 3 条断裂:左为巴什托普断裂,右为阔什拉克断裂,两者的表现形式完全一致,它们向下延伸都收敛于 T_{g7} 界面,向上延伸止于 T_{g5} 界面(志留系的底面),向南冲断;中部的断裂(未名)由 2 条相向而倾的正断层组成,应与巴西断裂(F_{23})和塔参 2 井南断裂(F_{24})属同一断裂系,是海西期张裂事件的产物^⑥。在 KP02-683 剖面(图 4 右上)上,阔什拉克断裂可分为 2 段:上段倾角较陡,向上延伸止于 T_{g3} 界面(石炭系的底面),造成志留系及其上的上古生界发生宽缓的褶皱;下段限于 T_{g5} 界面与 T_{g7} 界面之间,倾角甚缓,向上延伸成为沿 T_{g5} 界面的层间滑动断层。TB93-11 剖面(图 4 左下)揭

示的阔什拉克断裂的形态基本同图4右上,只是它上延穿过了 T_{g3} 界面而止于 T_{g2} 界面(二叠系的底面)。TB92-02地震剖面(图4右下)揭示阔什拉克断裂向上延伸也止于 T_{g3} 界面;与图4右上相比,其特点是整条断裂倾角都较陡,分段性不明显,此外,断裂上盘地层的褶皱也明显较图4右上的强。

综合上述资料可以认为,阔什拉克断裂与巴什托普断裂有大致相似的特征,即均向北冲断,向下延伸均收敛于 T_{g7} 界面,主冲断期是白垩纪。尽管断裂未上切入新生界(未穿过 T_8 界面),但据新生界的宽缓褶皱判断它在更新世活动过。两者还有一个共同点是,向东冲断活动增强,相应地,上盘的断层传播褶皱发育较好。两者的不同是:阔什拉克断裂上延最高只达 T_{g2} 界面,未见上延达 T_8 界面甚至切穿 T_8 者,反映其活动强度逊于巴什托普断裂。

2 冲断构造特征

综上所述,巴楚断隆的南界断裂带晚中生代以来发生过3次冲断活动,按主要活动期的断裂发育示于图3中。本节先分别说明各期冲断活动的主要几何学和运动学特征。

2.1 白垩纪的冲断

该时期发生冲断的东西—北西西向断裂有6条,自东向西简述如下。①玛扎塔格深部断裂(图2左上的 F_{Tg7} ,并可参阅杨海军等^[1]的文献),位于玛南断裂与玛北断裂之间。②鸟山深部断裂,伴有背冲断层。③鸟山以北的罗斯塔格深部断裂,它与鸟山深部断裂可能原是同一断裂,因鸟山北断裂的冲断而重复出露^①。④新命名的康西断裂^[3],实际上包括了深部断裂和浅部断裂。尽管前者的西段因更新世的活动断层面已切过 T_3 界面,但仍有证据表明它在白垩纪活动过,如 T_{g2} 界面及其下的各地震反射界面的褶皱强度明显大于 T_8 界面的褶皱,断层上盘的二叠系已遭受剥蚀(断层传播褶皱的背斜核部尤甚)。⑤巴什托普断裂,中生代—早古近纪曾是巴楚断隆的南界^[5]。⑥前述的阔什拉克断裂。

上述断裂具以下特征。①断面向下延伸收敛于 T_{g7} 界面,表明它们是盖层滑脱型冲断层;上延常止于 T_8 界面(康西深部断裂除外),个别断裂可进入古近系底部(冲断活动可延至古近纪初)。②断面向南倾(巴什托普和阔什拉克断裂除外),麦盖提斜坡向北冲断在巴楚断隆上。③仅鸟山深部断裂见背

冲断层与主冲断层构成断裂带,罗斯塔格由2条同向的冲断层构成一狭窄的断裂带,其它均为单条断裂,变形相对简单。④更新(一全新)世重新活动,故常见一条浅部断裂与深部断裂形影相随(巴什托普和阔什拉克断裂除外);浅部断裂向下延伸收敛于 T_8 界面,也向北冲断,表明与深部断裂有相同的动力学机制。⑤断裂走向自东向西由近东西向变为北西西向。

北西向断裂也在白垩纪活动。在后期改造不强烈的地区,可见北西向断裂以走滑为主(伴有斜冲),如海米塔格深部断裂^②。鸟山东断裂上延未切穿 T_8 界面,表明它主要在白垩纪活动,其两侧的东西向断层的冲断特征明显不同,暗示当时鸟山东与古董山断裂曾经是一条断裂并起了剪切变换的作用^①。此外,白垩纪活动的断裂可能还有东西向的鸟山北断裂,这不仅能说明玛扎塔格深部断裂西延为何变成2条冲断层(罗斯塔格深部断裂和鸟山深部断裂),而且可以圆满地解释沙垅断裂白垩纪时东(南)、西(北)2段有截然不同的演化(西北段发生继承性冲断而形成相对开阔的冲断构造带,东南段不活动),但鸟山北断裂白垩纪的冲断面貌已遭到中新世的右行走滑作用的改造。

简言之,白垩纪主要发育东西—北西西走向的冲断构造带,伴有右行走滑的北西向断裂组成的变换构造带。

2.2 中新(一上新)世的冲断

该时期发生冲断的断裂有6条。①玛扎塔格断裂带中的玛南断裂(图2左上的 F_{MN} 和 $F_{MN(b)}$,并可参阅杨海军等^[1]的文献),是巴楚断隆现存的南界断裂。②古董山断裂,其主干断裂和背冲断裂南延都转为北西西向并分别与玛南断裂和玛北断裂相连,是连接南界断裂的块内断裂。③三岔口断裂(图5上,该地震剖面切过了3条断裂,自左向右依次为:色力布亚断裂 F_2 及其背冲的同岗断裂 F_{25} ,曲许盖断裂 F_{20} ,三岔口断裂 F_{19}),属盖层卷入型冲断层,是不连接南界断裂的块内断裂。④康塔库木断裂,其东南段是巴楚断隆现存的南界断裂,西北段是块内断裂。⑤色力布亚断裂,其背冲的同岗断裂的活动可延至上新世^[3],常被视作巴楚断隆现存的南界断裂。⑥曲许盖断裂向南倾,深切入前寒武系(图5上),根据其主干断层和背冲断层都切穿 T_3 界面和阿图什组但止于 T_2 界面(更新统的底面),判别其活动可延至上新

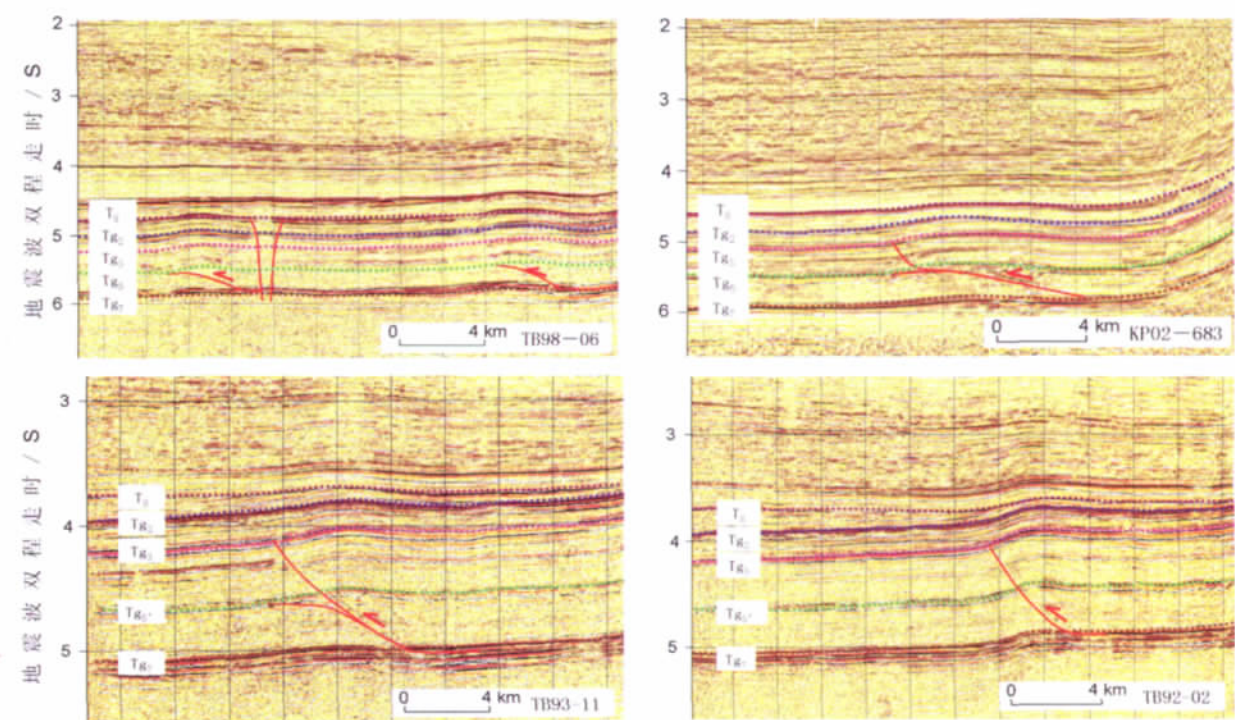


图 4 通过阔什拉克断裂的 TB98-06(左上)、KP02-683(右上)、TB93-11(左下)和 TB92-02(右下)地震剖面
Fig. 4 Seismic profiles of TB98-06 (upper left), KP02-683 (upper right), TB93-11 (lower left) and TB92-02 (lower right) across the Kuoshenlake fracture

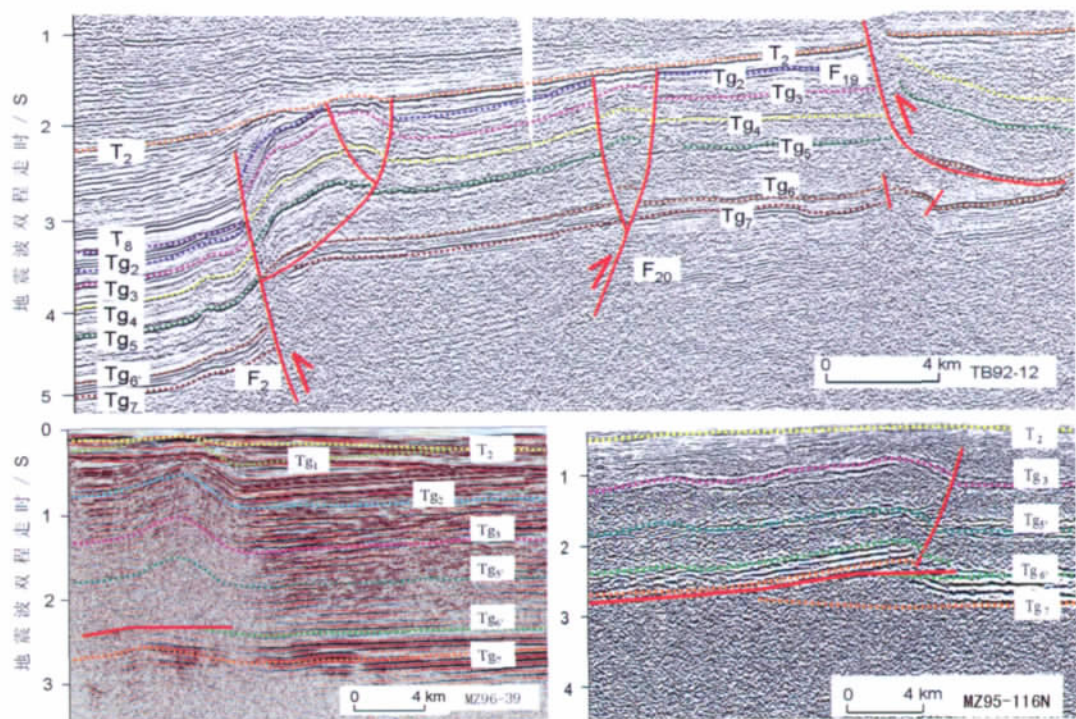


图 5 TB92-12(上)、MZ96-39(左下)和 MZ95-116N(右下)地震剖面
Fig. 5 Seismic profiles of TB92-12 (upper), MZ96-39 (lower left) and MZ95-116N (lower right)

世,与同岗断裂的冲断^[3]大致同时。

这些断裂的共同特点如下。①常向下延伸切穿 T_{g7} 界面而断入前寒武系中(基底卷入型冲断层),进入块内则变浅为盖层滑脱断裂;向上延伸常止于 T_3 界面。②断层面向北东倾(曲许盖断裂除外),沿南界断裂巴楚断隆冲断在麦盖提斜坡上。③基底卷入型冲断层常伴生有向北东冲断的背冲断层,如玛北断裂、同岗断裂和图2右上的 F_9 (康塔库木断裂除外,可能与它具有明显的走滑特征有关),说明断裂带的内部结构较白垩纪的冲断带复杂。④更新—全新世不活动(三岔口断裂除外)。⑤自东向西,其走向由北西西向变为北西向再变为北北西向,即玛南断裂的东段和西段为北西西向,古董山断裂为北西向,康塔库木断裂(西北段)和色力布亚断裂为北北西向。这一变化规律与白垩纪冲断层自东向西由东西走向变为北西西走向的特征一致,暗示巴楚断隆可能在晚近时期发生过顺时针转动。

东西向的鸟山北断裂是一条主要在中新世活动的右行走滑断裂^①,在近北西走向的冲断层活动中起了剪切变换带的作用。正是因为鸟山北断裂的右行走滑吸收了沿北西走向断裂发生的冲断变形量,同为北西走向的海米塔格断裂和沙垅断裂在中新(—上新)世不活动,近东西向的罗斯塔格断裂和鸟山断裂也不活动(不同于玛扎塔格断裂带)。这表明在北西向断裂组成的冲断带中也发育变换构造带,只是这种变换构造带不像上述北西走向走滑断裂切断东西向冲断带的变换那样直观。还要指出的是:鸟山北断裂见于海米塔格断裂与古董山—鸟山东断裂之间的地区,该地区是白垩纪近东西向冲断带中的变换构造带,中新世有新的剪切变换带形成,构造进一步复杂化。

2.3 更新(—全新)世的冲断

该期活动的冲断层自东向西有:玛扎塔格浅部断裂(图2左上的 F_{18} ^[11])、鸟山浅部断裂、罗斯塔格浅部断裂、海米塔格浅部断裂和康西浅部断裂^[3]。它们都是白垩纪冲断层,在更新(—全新)世重新活动,因而都向北冲断,向下延伸均收敛于 T_8 界面(仅限于新生界内)。巴什托普和阔什拉克断裂在更新世也活动过,但只表现为上覆地层的褶皱,新生界内未见“浅部断层”。图5上显示三岔口断裂已突破 T_2 界面(已通达地表),但向南冲断,可理解为这一冲断系中

的背冲构造。

3 断裂带演化

3.1 前白垩纪

在塔里木中部地区发现晋宁期的岛弧型花岗闪长岩^[7-8]和洋岛型火山岩^[9],塔里木板块的基底可分为3部分:塔北地块、塔南地块和夹持在两者间的晋宁期造山带,后者是塔中隆起带(自西向东为巴楚断隆、塔中隆起和塔东隆起)的前身^[10]。最近获得的该地区花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $757.4\text{Ma} \pm 6.2\text{Ma}$ ^[11],揭示了这一造山作用的长期性。杨海军等^[1]和朱德丰等^[12]分别提出:现作为巴楚断隆南界和北界的玛扎塔格断裂带、吐木休克断裂带曾分别是晋宁期造山带的南界和北界。

晋宁期造山带经南华纪的坍塌后,震旦纪开始接受沉积,并与原塔南地块的碳酸盐台地连成一体。早—中寒武世已形成幅员辽阔的陆表海盆地,该时期沉积的厚大的膏盐层在塔里木中—西部广泛分布,面积可达 $20 \times 10^4 \text{km}^2$ 。此时是断裂活动的平静期。晚寒武世,随西昆仑洋消减(角闪闪长岩和花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 $506.8\text{Ma} \pm 9.8\text{Ma}$ 和 $500.2\text{Ma} \pm 1.2\text{Ma}$ ^[13]),塔里木板块内部发生张裂,形成北西向的新生构造^[10,14]。以北西向的塔中—号断裂带(图1角图中的 F_{26})为界,塔里木板块出现了两大沉积区:东部及北部为槽盆(满加尔—库鲁克塔格坳拉谷),西南部为碳酸盐台地^[10]。后者内部也有北西向断裂发育,沿之水体变深,沉积厚度增大。自塔中—号断裂带向西南,北西向同沉积断裂发育变差,因而巴楚—麦盖提地区晚寒武世—奥陶纪沉积的总趋势是向南西沉积厚度变小。奥陶纪末—志留纪初,随西昆仑洋的消减达到高潮(同位素年龄可参阅崔建堂等^[15-17]的文献),北西向断裂发生强烈反转(早加里东运动或称艾比湖运动^[10]),在巴楚—麦盖提地区也有反映,如沙垅断裂和图2左下的2条断裂等。志留纪,塔里木的中—北部地区广泛发生海侵,西昆仑山前地区则受西昆仑洋消减的影响而隆起,即巴楚—麦盖提地区志留纪—泥盆纪时南高(隆起)北低(海相沉积区)。

石炭纪,塔里木地区出现一个包括巴楚—麦盖提地区在内的广阔的拗陷。二叠纪开始是西昆仑洋消减的又一高峰期^[18],计文化等^[19]报道了该地区 $230 \sim 244\text{Ma}$ 的闪长岩脉和花岗岩脉年龄,指示中三

叠世洋壳还在消减,碰撞发生于晚三叠世—早侏罗世。伴随这一消减,巴楚地区早—中二叠世沿北西向断裂有火山岩喷发和辉绿岩侵入;相应地,麦盖提地区此时有北西向的正断层发育,如巴西断裂和塔参2井南断裂,但这两者未见火成岩活动。中生代巴楚—麦盖提地区遭受隆起剥蚀。

由上述得到的重要认识如下。①自塔里木板块形成直至中生代,巴楚—麦盖提地区属同一构造—沉积单元(尽管某些时段沉积—火山活动有差异),白垩纪之前本文讨论的巴楚断隆的南界断裂尚未出现。②晚寒武世—泥盆纪麦盖提地区的古地貌南高北低,与今日情况(一个南倾斜坡)不同。③早古生代和晚古生代巴楚—麦盖提地区仅发生北西向的新生构造活动,成为塔里木克拉通新生构造的发育不同于扬子克拉通的一个明显特点^[14,20];基底断裂长期处于平静状态。

3.2 白垩纪

巴楚—麦盖提地区缺失中生界,因而地震剖面上反映的向上延伸止于 T_8 界面的断层只能说是新生界沉积前(或说中生代)活动的。本文结合区域构造演化认为它们主要在白垩纪时期发生过活动。塔西南地区盆地的发育与西昆仑造山带的演化耦合^[21]。由于前述的西昆仑洋闭合后的陆—弧碰撞,以及早白垩世印度河—雅鲁藏布洋发生大规模的向北消减^[22]和部分洋盆闭合后的陆—陆碰撞,西昆仑山作为陆内响应而崛起并在山前形成冲积扇—扇三角洲相沉积^[23],铁克里克推覆体的向北冲断曾在侏罗纪—白垩纪出现一次高潮^[24]。它的向北扩展导致巴楚断隆南界断裂带白垩纪的冲断,巴楚—麦盖提地区发生分异:巴楚断隆作为一个稳定地块成为该冲断带的前隆区,麦盖提则成为一个向南倾的斜坡。

白垩纪巴楚断隆南界断裂活动的主要特征可总结为3点。①除康西断裂是加里东期形成的断裂外,其它断裂(以玛扎塔格深部断裂为代表)可能都是原晋宁期造山带的南界断裂的复活。西段的巴什托普和阔什拉克断裂似乎是其中的例外,因它们向南冲断,曾被解释为“背冲构造”^[5],是否有其它动力机制,应在今后工作中注意。②这些断裂均未切入前寒武系,断裂带内部结构相对简单,似乎应属铁克里克冲断系的前锋冲断带。更北,位于巴楚断隆北部的卡拉沙依断裂(图5左下和右下)也由深部断裂和浅部断裂组成。深部断裂是一条沿中—下寒武统内的

膏盐层发育的层间滑动断裂;尽管未切入古生界,其活动仍使上盘的古生界发生断层转折褶皱,即卡拉沙依背斜。该断裂向北滑脱冲断,与巴楚断隆南界(东段)的冲断活动一致。据此可以认为,卡拉沙依断裂是铁克里克冲断系最北缘的一条断裂,它与巴楚断隆南界断裂共同构成了一个开阔的低应变前锋带。③巴楚断隆南界冲断带白垩纪的活动与北界断裂带的活动不同步。北界的吐木休克断裂在海西期发生冲断(巴楚—麦盖提地区未见该期冲断活动),侏罗纪—白垩纪是巴楚断隆与其北的阿瓦提凹陷之间的分界,未见冲断活动^[12]。

3.3 新生代

因巴楚断隆南界断裂白垩纪的活动,麦盖提斜坡与巴楚断隆成为2个构造—沉积单元:前者有古近系沉积(塔西南地区古近纪还发生了海侵^[25]),后者古近纪时总体仍隆起。新生代期间发生了2次重大的冲断,其最大特点是与以吐木休克断裂为代表的巴楚断隆的北界断裂同步发育。

中新(—上新)世活动的冲断层,除玛扎塔格断裂带外几乎都是近北西向断裂,它们可能是白垩纪形成的,不是加里东期断裂的复活,理由如下。①该期断裂的走向更偏北,为北西—北北西向,与加里东期形成的北西向断裂明显可分(图1、图3)。②加里东期形成的北西向断裂二叠纪常成为岩浆活动的通道并被火成岩焊合,故在中—新生代长期稳定^[6]。麦盖提地区的 F_{23} 和 F_{24} 等北西向断裂二叠纪没有岩浆活动,中—新生代也保持稳定。巴楚断隆南界断裂带中的沙垅断裂和康西断裂的西北段受邻近地区白垩纪的冲断活动而被激活,东南段在白垩纪—新生代仍保持稳定。③已有研究表明:白垩纪是阿尔金断裂首次走滑的高峰期(距今 100~85Ma)^[26~27];伴随阿尔金山的冲起,且末—若羌一线的早白垩世盆地发育较好。塔里木盆内的这一组北西向断裂作为阿尔金断裂的共轭组分而出现,它们呈右行雁行斜列,在白垩纪东西—北西西向的冲断带发育时起了剪切变换作用。不过这期活动的证据仅在海米塔格深部断裂和鸟山东断裂中保存,其它断裂因中新(—上新)世的冲断,白垩纪的活动记录已基本消失。该期冲断活动使巴楚断隆南界断裂带的西段由巴什托普断裂北移到色力布亚断裂;相应地,南界断裂带西段的走向变为北西—北北西向。

吐木休克断裂(图1中的 F_{14})中段的2条地震

剖面(见朱德丰等^[12]的图10和图11)揭示,断裂上延可穿过 T_8 界面,但止于 T_3 界面(即库车组(N_{3k})的底面),表明它们在中新世发生向南(西)的冲断(阿瓦提凹陷冲断在巴楚断隆之上),局部地区伴随有背冲构造。近北西向的巴东断裂(F_{13} ,即吐木休克号断裂)向上延伸切穿了 T_8 界面和 T_5 界面即康村组(N_{1-k})的底面并进入康村组中,但未达 T_3 界面^[6],说明它也在(古近纪—)中新世活动过,是兼有斜冲的走滑断层。该断裂向南西倾,应属北西向冲断系中的背冲构造。

还应指出:作为巴楚断隆东界的玛东断裂(F_{12})奥陶纪末曾发生过冲断(艾比湖运动),之后长期稳定。地震剖面TB94-125、JM98-268和JM98-252揭示:玛东3号断裂向上切过古近系但未穿过 T_3 界面,反映它在阿图什组(N_{2a})沉积之前活动,即在中新世活动^[6]。浅部断层产状陡立,两侧地层间的垂直断距不大,指示其活动方式以走滑为主。它与近东西向的鸟山北右行走滑断裂一起构成了北西向冲断系中的剪切变换构造。

巴楚断隆南界断裂带的东西—北西西向白垩纪冲断层在更新(—全新)世重新活动,故常见伴随一条浅部断层发育,错断新生界(向下延伸收敛于 T_5 界面),冲断的方向也与白垩纪的相同,指示了同样的动力学背景。此外还应提到2条该时期活动的冲断层。一是卡拉沙依浅部断层,明显使白垩纪形成的卡拉沙依背斜遭到破坏;尽管未切穿 T_2 界面,但根据它控制更新统发育和 T_2 界面已发生缓波状起伏,判别该断裂在更新世时向北冲断。二是三岔口断裂,地震剖面揭示它已切穿 T_2 界面(图5上),向南西冲断,反映它继承了中新世断裂活动的方式。

吐木休克断裂的中—西段可穿过 T_3 界面而进入库车组内(见朱德丰等^[12]的图4和图12),西段甚至可见冲达地表,指示了该断裂在更新世的活动。其主要冲断特征如下。①主断层面朝南倾,巴楚断隆向北冲断到阿瓦提凹陷上,这一活动方式与巴楚断隆南界断裂带中的浅部断层的活动方式一致。②断裂不但错断了新生界,而且向下延伸切入(或切穿)古生界。③常伴有向南冲断的背冲断层,且背冲断层下延也切入古生界中。背冲断层的发育显示了中新世冲断层的继承性活动(三岔口断裂同),但已被纳入了更新世的运动学系统,这与南界断裂带在更新世形成浅部断裂的运动学特征不同。

前述的玛东3号断裂向上延伸可切穿 T_3 界面和上新统,表明它在更新世曾发生了活动,并表现出以下特点。①断层面近直立。②主干断裂两侧发育分支断裂,形成类似花状构造的断层组合。③此时断层面已切穿原收敛于 T_{g7} 界面的艾比湖运动时的冲断层而向下切入前寒武系中(可参阅李曰俊等^[6]的图5)。这说明玛东3号断裂中新世的走滑在更新世又进一步发育,并在更新世的冲断带活动时起了剪切变换作用。

4 结 语

综上所述,巴楚断隆南界断裂带的复杂性表现在以下几个方面。①组成该断裂带的断裂有3种来源:晋宁期的基底断裂、早古生代形成的断裂和白垩纪形成的断裂,以前、后两者为主。②该断裂带在白垩纪形成(分开了巴楚断隆和麦盖提斜坡),中新世再活动时,其西段的位置由巴什托普断裂北移到色力布亚断裂;相应地,断裂带走向由北北西向变为北北西向。③几何形态上可分为3段:其东段是一条断裂(玛扎塔格断裂),中段是2条北西向断裂(海米塔格断裂和鸟山东—古董山断裂)构成的剪切变换带,西段是呈帚状撒开的一组开阔的断裂带。④其运动学特征相应地表现为:东段的玛扎塔格断裂带集3期冲断运动于一身,中—西段的断裂活动有“此起彼伏”的特点,且南界断裂的部分变形量可能被分配到块内断裂上。⑤南界断裂带白垩纪的冲断活动与北界断裂带的发育并不同步,新生代的2期冲断则与北界断裂带同步发育。⑥就“盆”“山”耦合关系而言,白垩纪和更新(—全新)世的向北冲断与西昆仑山前褶皱冲断系的向北扩展有关,中新(—上新)世向南或南西的冲断受南天山褶皱冲断系向南扩展的制约。南界断裂带与北界断裂带更新(—全新)世的冲断尽管有相同的动力学背景,两者的冲断活动却有不同的表现形式。

巴楚断隆南界断裂带晚中生代以来的3次冲断,尽管运动学特征和动力学机制并不相同,但有一个共同点:伴有与冲断层斜交—高角度相交的走滑断层发育,它们构成了冲断系中的剪切变换构造带(transfer zone^[28-29])。其中最应强调的是白垩纪鸟山东—古董山断裂和其西的海米塔格深部断裂,这两者组成的变换构造带实际上成为巴楚断隆南界断裂带的中段。中新世鸟山北断裂的剪切活动使该变换

构造带复杂化,南界断裂带东、西两段演化的差异性进一步加强。作为巴楚断隆东界的近北东向的玛东断裂带(F_{12}),曾在奥陶纪末的冲断活动中对两侧(东侧为塔中隆起)不同的冲断方向和冲断量起过调节作用^[6],新生代活化(走滑)的玛东3号断裂成为巴楚断隆与塔中隆起之间的变换边界,是塔中隆起带近东西向的南界断裂活动时的剪切变换带(塔中隆起的近东西向断裂和北西向断裂新生代基本上未活动)。

简言之,巴楚断隆南界断裂带活动的构造样式,可总结为2套不同方向的冲断系及与之配套的2套剪切变换系;白垩纪的变换构造将南界断裂带切成特征各不相同的3段(变换构造带自身构成中段),新生代的走滑使白垩纪的变换构造带复杂化,对油气藏有较明显的破坏作用。

参考文献

[1]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.

[2]李洪辉,邬光辉,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.

[3]孟庆龙,李曰俊,师骏,等.塔里木盆地西部色力布亚断裂和康西断裂的主要特征及活动时代[J].地质科学,2008,43(2):282-293.

[4]李曰俊,吴根耀,雷刚林,等.新疆库车新生代前陆褶皱冲断带的变形特征、时代和机制[J].地质科学,2008,43(3):488-506.

[5]孟庆龙,李曰俊,敬兵,等.塔里木盆地西部巴什托普断裂的主要特征及其油气勘探意义[J].地质科学,2008,43(3):569-575.

[6]李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等.塔里木西部地区古生代断裂活动的方式和机制[J].地质科学,2008,43(4):727-745.

[7]李曰俊,孙龙德,胡世玲,等.塔里木盆地塔参1井底部花岗-闪长岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学研究[J].岩石学报,2003,19(3):530-536.

[8]李曰俊,宋文杰,吴根耀,等.塔里木盆地中部隐伏的晋宁期花岗岩闪长岩和闪长岩[J].中国科学(D辑),2005,35(2):97-104.

[9]吴根耀,李曰俊,王国林,等.新疆西部巴楚地区晋宁期的洋岛火山岩[J].现代地质,2006,20(3):361-369.

[10]李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等.塔里木盆地中央地区的断裂系统:几何学、运动学和动力学背景[J].地质科学,2008,43(1):82-118.

[11]邬光辉,张承泽,汪海,等.塔里木盆地中部塔参1井花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J].地质通报,2009,28(1):568-571.

[12]朱德丰,刘和甫,吴根耀.塔里木盆地西部吐木休克断裂带的主要特征和构造演化[J].地质科学,2008,43(2):209-227.

[13]张占武,崔建堂,王炬川,等.西昆仑康西瓦西北部角闪闪长岩和花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2007,26(6):720-725.

[14]吴根耀,杨海军,王步清,等.塔里木克拉通继承性构造与新生构造并存的时空发育特征及其对海相油气勘探的指导[J].石油实验地质,2009,31(4):315-323.

[15]崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦北侧早古生代角闪闪长岩、英云闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2006,25(12):1441-1449.

[16]崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦一带早古生代石英闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2006,25(12):1450-1457.

[17]崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦北侧蒙古包—普守一带早古生代花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2007,26(6):710-719.

[18]吴根耀.造山带地层学[M].成都:四川科学技术出版社,乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2000.

[19]计文化,周辉,李亚民.西昆仑新藏公路118~323km基性、酸性岩脉K-Ar年龄[J].地质通报,2005,24(3):243-245.

[20]吴根耀,马力,梁兴,等.继承性构造和新生构造并存发育的时空规律——兼论新生构造的油气勘探意义[J].地质通报,2010,29(4):488-501.

[21]吴根耀,马力.“盆”“山”耦合和脱耦在含油气盆地分析中的应用[J].石油实验地质,2003,25(6):648-660.

[22]吴根耀,王晓鹏,钟大赉.藏东南地区早白垩世的安第斯型弧火山岩[J].岩石学报,1999,15(3):422-429.

[23]孙龙德.塔里木盆地库车坳陷与塔西南坳陷早白垩世沉积相与油气勘探[J].古地理学报,2004,6(2):252-260.

[24]高长林,叶德燎,张玉箴,等.塔里木中新生代盆地扩张和盆地俯冲与地幔柱[J].石油实验地质,2003,25(6):661-669,678.

[25]邵龙义,何志平,顾家裕,等.塔里木盆地古近纪岩相古地理[J].古地理学报,2006,8(3):353-364.

[26]刘俊来,潘宏勋,任收麦,等.阿尔金断裂双层花状构造的厘定[J].地质科学,2003,38(1):52-59.

[27]刘永江,Neubauer F,葛肖虹,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.

[28]Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zone in the east African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J].AAPG Bull.,1990,74(8):1234-1253.

[29]Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes [C]//Faulds J E, Stewart J H. Accommodation Zones and Transfer Zones: Segmentation of the Basin and Range Province. Boulder (Colorado): Geological Society of American Special Publ., 1998,323:73-76.

① 杨海军,李曰俊,吴根耀,等.塔里木盆地西部乌山地区断裂的主要特征和活动时代.石油实验地质,2011,(2).

② 赵岩,李勇,吴根耀,等.塔里木盆地西部罗斯塔格地区断裂特征和活动时代.石油与天然气地质,2010,(6).