

西南天山迈丹断裂阿合奇段左旋走滑 的证据及其最新活动^①

贾启超¹, 吴传勇², 沈 军³, 吴国栋², 任 鹏³

(1.中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000; 2.新疆维吾尔自治区地震局,新疆 乌鲁木齐 830011;

3.防灾科技学院,北京 101601)

摘要:柯坪推覆构造的根部断裂记录到的地震活动相对较弱,以至于多数学者认为该断裂晚第四纪以来活动性不强。笔者根据遥感影像解译和野外调查得到迈丹断裂的几何展布,确认 F_3 阿合奇段为最新地表破裂带,并通过一系列河流阶地的左旋位移测量确定其晚更新世以来有过走滑活动。结合地貌测量和探槽开挖得到断层垂直错距,探槽揭示的古地震事件发生在距今 (1.76 ± 0.22) ka 之后,根据现场考察获得的活动构造定量数据,依据不同震级与地表破裂关系式推算出该次古地震震级为 7.5 级。研究成果可能对区域活动断裂的研究以及区域活动构造图像的完整性提供基础资料,同时最新地表破裂证据的发现可能有助于更新认识该断裂的危险性。

关键词:构造地貌;地表破裂;左旋;古地震;迈丹断裂

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)01-0222-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2015.01.0222

Evidence of Left-lateral Strike-slip along the Aheqi Segment of Maidan Fault in Southwest Tianshan Mountains, China and its Latest Activity

JIA Qi-chao¹, WU Chuan-yong², SHEN Jun³, WU Guo-dong², REN Peng³

(1.Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2.Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

3.Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: Maidan Fault is the boundary fault of the Tianshan Mountains and Tarim Basin. The geometric and historical seismic distributions revealed relatively weak seismic activity at the foot of Kalpin nappe; thus, the majority of scholars have reported that Maidan Fault has undergone low activity since the late Quaternary. On the basis of remote sensing image interpretation and field investigation, we obtain the geometric distribution of Maidan Fault. The fault distribution map of Aheqi Segment shows that the fault zone, with a length of approximately 60 km, is mainly composed of three approximately parallel NE faults; F_3 is confirmed as its freshest surface fracture zone. At present, the fracture feature is still in dispute. Some researchers have reported that Maidan Fault was caused mainly by strike slip, whereas others have stated that no evidence exists for the westward continuation of the Maidan fault zone across the Pamirs. We believe that strike-slip activity created a series of river terraces with sinistral displacement during the late Pleistocene. Through topography measurement and trench exploration, we obtain the fault's offset. A cross section of the trench across Maidan Fault shows that a paleoearthquake occurred before (1.76 ± 0.22)

① 收稿日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金(41102137); 国家国际科技合作专项课题(2012DFR20440K02); 中国地震局教师科研基金(20120101)

作者简介: 贾启超, 男(汉族), 在读硕士研究生, 主要从事活动构造与地震危险性分析研究. E-mail: jiaqichao1988@163.com

ka. We used different regression equations and quantitative date of active faults to determine that the magnitude this earthquake was 7.5. This research can provide new information on regional active faults. The regional active tectonic images and the discovery of the new surface rupture zone may help us to recognize the danger of this fault.

Key words: tectonic landform; surface rupture; sinistral strike-slip; paleoearthquakes; Maidan Fault

0 引言

柯坪塔格推覆构造纵向上位于西南天山与塔里木盆地之间,是西南天山前陆构造的一部分。在迈丹断裂两侧仅 40 km 的范围内,海拔高度由 7 345 m 快速降至山前盆地的 2 000 m,地形高差达 5 000 m 以上,新构造运动的幅度甚至超过了龙门山地区。该断裂是柯坪推覆构造的根部断裂^[1],前人对该地区的研究主要集中于柯坪推覆构造内部的近东西向等间距排列的多排单斜或倒转背斜以及逆断裂,对于其根部断裂鲜有涉及。受帕米尔向北推挤、天山向南逆冲以及塔里木顺时针旋转及陆内俯冲作用,该地区受挤压活动而变形强烈^[2],然而该地区地震活动集中于推覆体前缘的柯坪断裂等构造之上,且根部断裂记录到的地震活动相对较少,仅发生过 1969 年乌什北 6½ 级地震、1987 年乌什 6.4 级地震和 2009 年阿合奇 5.4 级地震,以至于多数学者认为根部迈丹断裂晚第四纪以来活动性不强,发震能力有限,但也有学者认为迈丹断裂可能是 1902 年阿图什 8 级大地震的发震构造^[3]。对该断裂的研究可能为区域活动断裂的研究,以及区域活动构造图像的完整性提供基础资料,同时最新地表破裂证据的发现可能有助于重新认识该断裂的危险性。

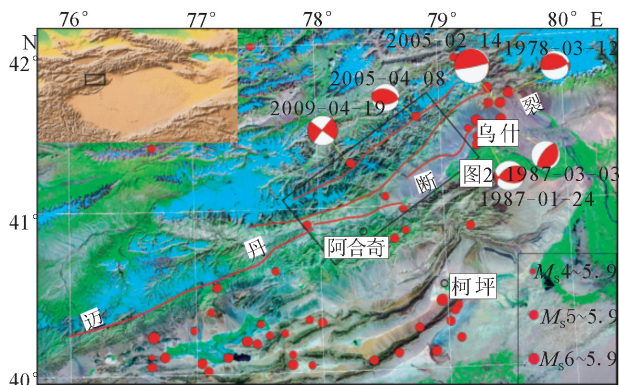


图 1 迈丹断裂几何形态及历史地震活动分布

Fig.1 The geometriy of Maidan Fault and drstribution of historical earthquakes on it

迈丹断裂西起塔拉斯—费尔干纳断裂带,向东经迈丹、阿合奇至乌什段呈 NE 向展布,由于新近纪

以来断裂构造发育的不均衡性,乌什以东段转为近 NEE 向^[4],全长近 400 km,由多条次级断裂组合而成,最大宽度可达 15~17 km,断面倾向 NW,倾角 30~80°(图 1)。断裂西邻阿图什推覆体,东邻柯坪推覆体,与断裂带共同构成统一的前缘逆冲推覆构造系统^[1-5]。两个推覆构造分别向北收敛于南天山山前,造成山前强烈的挤压缩短运动^[6-8]。新生代以来,该地区经历了强烈的构造变形,且变形集中在一个很窄的带内,很容易孕育和发生地震(图 1),张希等^[9]据 GPS 速度场反演,亦表明该地区大震孕育背景显著。

陈杰等^[3]认为迈丹断裂晚更新世晚期以来以垂直运动为主,左旋走滑并不明显。也有学者^[10-11]认为该断裂是一条向南逆冲的大型左旋压扭断裂。郭建明^[12]研究认为,迈丹断裂晚第四纪以来以左行走滑运动为主,是一条左行逆走滑断裂。Mark B. Allen 等^[13]则指出迈丹断裂并无明显走滑证据。付碧宏等^[14]认为,塔里木板块处于持续的顺时针旋转运动状态中,导致本区域断裂系表现出不同程度的左旋走滑运动特征;由于逆冲兼左旋走滑的活动特征,使得构造体系在乌什逆冲断褶带中段突然转向时产生了垂直构造体系的局部高挤压应力区,导致乌什北地震活动频发(图 1)。沿迈丹断裂发生的几次中强地震的震源机制解也表明该断裂具有明显的走滑特征(图 1),其中 2009 年阿合奇 5.4 级地震,震源机制解主压应力 P 轴方位 355°,近南北向,倾角 3°,主压应力 T 轴倾角为 10°,其烈度分布也呈北东向,由此认为其发震构造迈丹断裂具走滑特征^[15]。

前人的研究多是基于遥感影像解译的基础之上或是对区域震源机制的推测,并未进行详实的野外实地考察。断裂的基本性质是以走滑运动为主,还是以逆冲为主尚未有统一认识,而对于断裂的古地震问题更加无人研究,影响了我们对该断裂晚第四纪活动特征的准确认知,无法科学地评价其地震危险性。笔者根据遥感影像解译和野外调查得到迈丹断裂的几何展布,确认 F₃ 阿合奇段为最新地表破裂带,并通过一系列河流阶地的左旋位移测量确定其

晚更新世以来有过走滑活动。结合地貌测量和探槽开挖得到断层垂直错距,并得到该断裂上古地震离逝时间为 (1.76 ± 0.22) ka。

2 迈丹断裂阿合奇段空间展布

迈丹断裂阿合奇段由 3 条产状相近且大致平行的次级逆断层组成,倾向北,倾角 $20 \sim 50^\circ$,平面上具有良好的线性展布(图 2、图 3),以下分别称 F_1 、 F_2 、 F_3 。此处 F_3 是 Q_2 与 Q_3 地层的分界断裂,并且错断了 Q_3 上零星分布的全新世地层。 F_3 可分为阿合奇段和乌什段,两段呈左阶斜列。阿合奇段错断了玉山古溪 T_3 级阶地,而乌什段并未错断别迭里河 T_3 级阶地,故阿合奇段活动性更强。工作区地处南疆,降水量小,侵蚀速率低,构造地貌保存较好。根据遥感影像解译和野外调查,阿合奇段的影像显示出古地震形变带和断层露头,以及断塞塘、地震陡坎、河流阶地位移等明显的古地震遗迹和断错地貌现象。

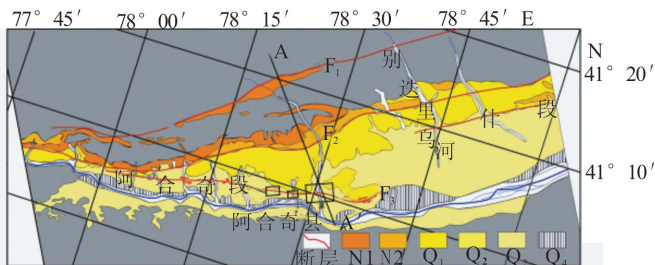


图 2 阿合奇段断裂展布图

Fig.2 Fault distribution map of Aheqi Segement

地表破裂由南天山逆冲推覆构造的南北向构造应力引起,形成的三条相距很近的叠瓦状逆断层。根据南天山山前其他断裂带的空间分布推知,这三条断裂呈平行叠瓦状向下收敛于同一滑脱面之上^[16]。就这三条断裂中的某一条而言,也是由更次一级的水平排列的多条小断裂组成,这种情况下形成的这一系列逆断层构造上并不彼此独立(图 3)。

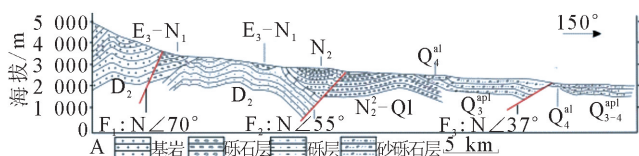


图 3 迈丹断裂阿合奇段地质剖面图

Fig.3 Cross section through the Aheqi Segement of Maidan Fault

南天山山前发育有多期晚更新世至全新世的冲洪积扇, F_3 在阿合奇段冲洪积扇上留下许多错断痕

迹,且在玉山古溪西 T_1 级阶地上发现错断全新世地层的一次反向破裂(图 4); F_2 错断了上新世地层; F_1 错断了中新世地层(图 3)。由于构造变形的多期性和复杂性,以及缺乏深部资料的限定,各排断裂间变形的相关性尚未得出。

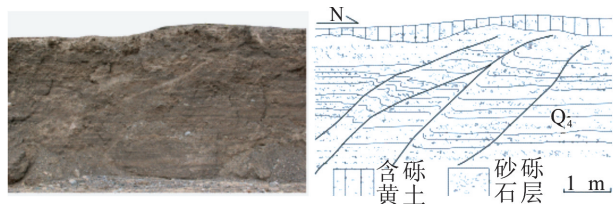


图 4 玉山古溪以西 T_1 阶地地表反向破裂

Fig.4 The surface reverse rupture of terrace T_1 west of Yushan ancient creek

3 断裂地质地貌特征

受新生代构造活动控制,断裂北侧南天山多次抬升形成深切河谷、河流阶地和冲洪积扇等地貌形态(图 2),这些地貌现象对断裂活动有很好的响应。另外断裂带所在位置有史以来均人迹罕至,因此地震痕迹不会遭到人类活动的破坏,同时研究区处于干旱少雨的山间谷地及紧邻山前的洪积扇,地震遗迹长时间内会保存完好。在对断裂几何形态整体追踪调查的基础上,对 F_3 段的最新活动特征和垂直位移等进行了详细的观察与测量,同时对断裂所断错的地貌面进行了光释光样品采集,特别是对其地表破裂带进行了重点考察,认为该断裂段存在明显的最新地震活动痕迹,并开挖探槽验证推测。

玉山古溪河发源于天山山脉,向南汇入托什干河,是穿越断裂的较大河流,阶地面平坦开阔,后期侵蚀改造作用较弱(图 5)。两岸共发育有 7 级河流阶地,阶地不对称分布,东岸发育有宽阔平坦的 T_3 级阶地,西岸 T_3 级阶地缺失。其中断裂穿过处 $T_1 \sim T_2$ 不发育, $T_3 \sim T_7$ 均发生了不同程度的错断,且阶地愈老陡坎高差越大,其中东岸 T_3 级陡坎高度 $2.3 \sim 2.5$ m, T_4^1 级陡坎高度 $4.4 \sim 4.6$ m, T_8 级陡坎高度约为 78.6 m;西岸 T_4^2 级陡坎高度 $7.4 \sim 8.2$ m, T_5 级陡坎高度约为 12.8 m(图 5)。这说明迈丹断裂多次活动,错断至地表。河口处自东向西发育一系列由老变新的冲积扇,推测这些地貌现象是由于此处断层垂直活动量较大,使块体向 SW 掀斜引起的。

在玉山古溪出山口处,阶地面总体平坦开阔,地表大面积出露阶地砾石层,断错地貌非常明显。在

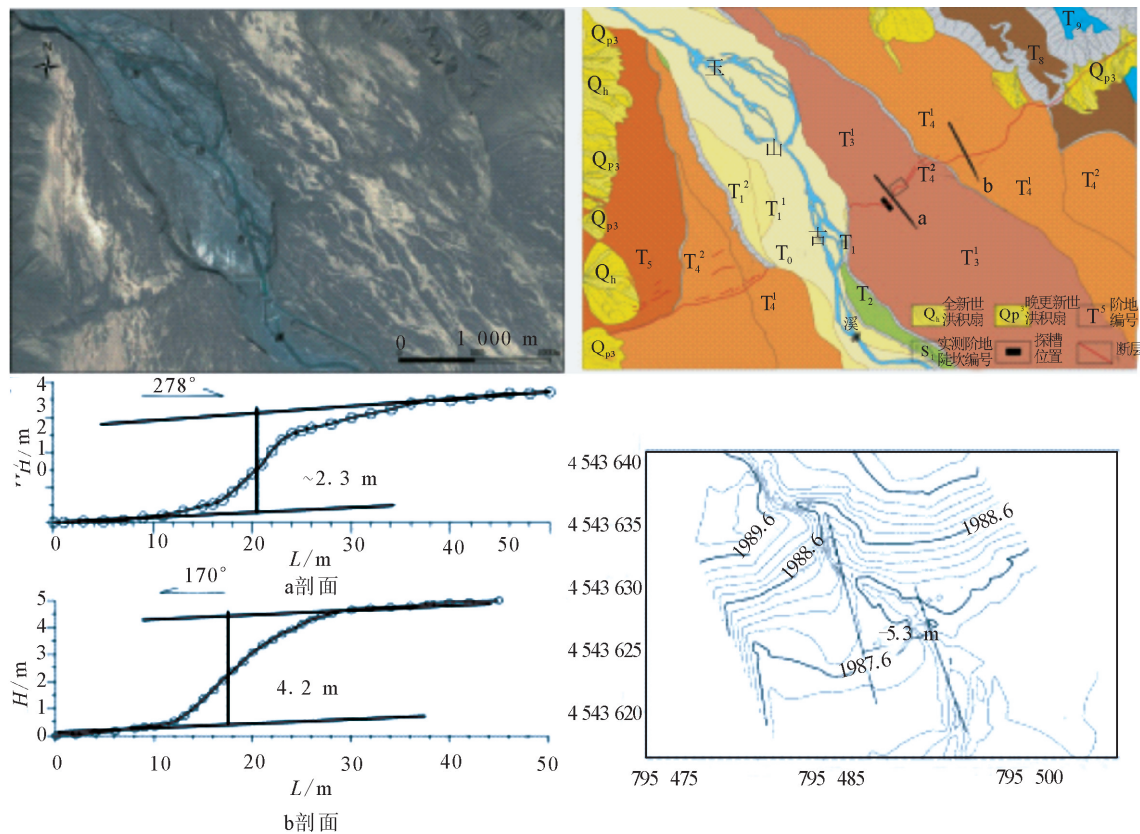


图 5 玉山古溪阶地地貌解译

Fig.5 Geomorphic interpretation of Yushanguxi ancient creek terrace

T₃ 阶地面上保留有非常清晰的陡坎地貌,陡坎走向变化较大,实测陡坎高度在 2.1~2.3 m 左右,左旋量约 5.3 m,平面上呈蛇曲状,但连续性较好(图 5)。在断层上盘局部地段还可见断续分布的反坡向陡坎;断层下盘,特别是陡坎附近,多沉积有风积的粉土层,厚度不一(图 5)。

野外实地考察发现,断裂具有明显的走滑特征。阿合奇西北有很多左旋的大冲沟(位置见图 2),冲沟左旋地貌显著,将此处断层走滑活动完整地保存下来(图 6(a)、6(b))。我们选择了一处典型的地点进行了地貌测量(位置见图 6(a))。此处 T₅ 阶地上断层陡坎垂直位移(11.2 ± 2.2) m,左旋位错为(72.5 ± 5.3) m。

4 探槽与古地震

于玉山古溪河东岸 T₃ 级阶地上跨陡坎开挖了一个探槽(位置见图 5),揭露出一条逆断裂,断层下部产状:230°/N∠35°,向上倾角逐渐变缓,仅 20°左右(图 7)。该探槽揭露出一次古地震事件,在 U10 发生沉积之后,断层发生快速错动,并在断层下盘形成崩积楔 U9,该次事件将 U2 垂直断错 1.95 m 左

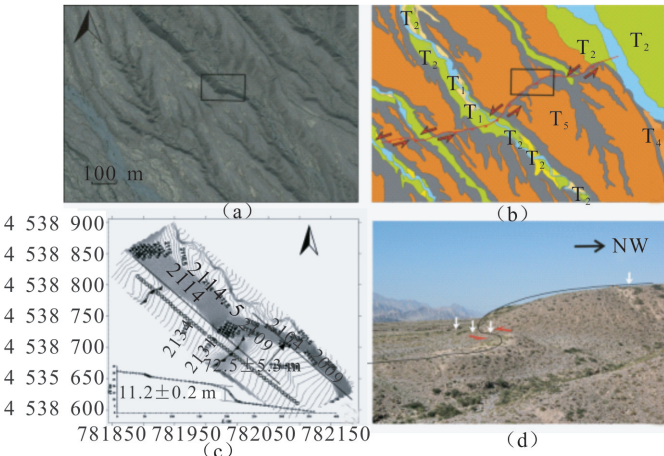
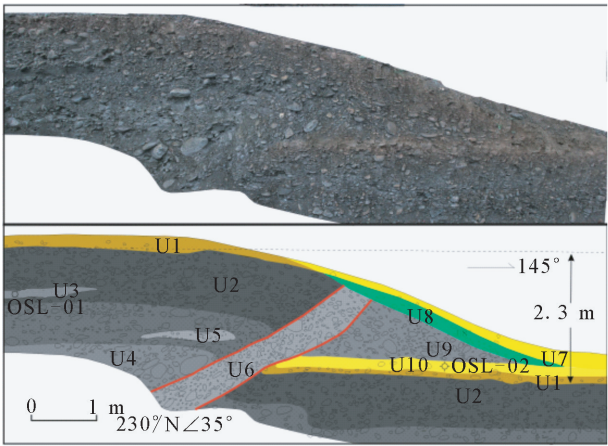


图 6 阿合奇西北河流阶地左旋

Fig.6 The sinistral offset of river terrace on northeast Aheqi

右。U8 随后形成,并坡积在 U9 上部,上盘的 U10 已剥蚀殆尽,并在下盘堆积了 U7,使上盘的 U1 出露地表。U10 粉土层中采集的光释光测年样品 OSL-02 测定该套地层的年龄为(1.76 ± 0.22) ka B.P.,推测该次古地震事件发生在距今(1.76 ± 0.22) ka 之后。

在 T₃ 阶地面上实测陡坎高度在 2.3~2.5 m,与



U1 含砾粉土层,土黄色,松散,断层面上盘砾石含量较多,砾石粒径较小,下盘砾石含量较少,以粉土为主,含植物根系;U2 青灰色砂砾石层,分选差,磨圆好,砾石粒径最大可达40 cm,具有水平层理,断层附近发生牵引变形,该套地层中断层上下盘均有出露;U3 灰黑色中粗砂层透镜体,松散,水平层理,局部夹杂有少量砾石,厚度为20~25 cm,向两侧逐渐尖灭;U4 灰白色青灰色砂砾石层,分选差,磨圆好,砾石粒径普遍较大,中间充填砂砾,砾石粒径最大可达80 cm,具有水平层理,断层附近发生牵引变形;U5 青灰色细砾石层透镜体,厚度30 cm左右;U6 断层带,较松散,易垮塌,宽约0.5~0.7 m,受断层活动影响,砾石层定向排列现象明显,砾石长轴方向与断面基本一致;U7 坎前堆积,青灰色,砾石层间夹杂粉土层,层理不明显;U8坎前堆积,有斜层理,夹杂少量粉土,略呈浅土黄色;U9 崩积楔,青灰色,中下部无明显层理,上部具有斜层理,夹杂少量粉土,上部颜色略呈浅土黄色;U10 土黄色粉土层,无层理,稍密实,厚度10~15 cm。

图 7 玉山古溪探槽剖面

Fig.7 Cross section of trench in Yushan ancient creek

探槽中揭露的古地震事件的垂直位移量基本一致,表明该级阶地面上仅记录到一次古地震事件。 T_4 阶地上的陡坎高度在4.4~4.9 m,位移量是最新一次古地震事件的2倍,应是两次古地震事件累计位移量。

综合以上测量结果,可以做如下分析: T_3 级阶地遭受过一次错动,错动事件发生在距今 (1.76 ± 0.22) ka,垂直错距约为2.1 m,同震左旋位移量为5.3 m。 T_4 级阶地至少遭受过2次错动,形成4.4~4.6 m的断层陡坎。

表 1 不同关系式得到的 F_3 段古地震震级

Table 1 Magnitude of the paleoearthquake on F_3 using different equations

关系式	适用条件	震级	参考文献
$M=6.03+0.76 \lg L$	全球,断裂性质不分	7.4	[17]
$M=6.430+0.666 \lg L$	中国西部,断裂性质不分	7.6	[18]
$M=4.69+1.46 \lg L + 0.48 \lg D$	(东亚,逆断裂)	7.4	[19]
$M=3.78+2.09 \lg L$	(东亚地区,逆断裂)	7.5	[19]
$M=5.44+0.980 \lg L + 0.334 \lg D$	中国西部走滑型活动断裂	7.4	[20]

基于统计结果,根据震级(M)与地震地表破裂带参数(L, D),不同作者得出不同的关系式,取 F_3 阿合奇段最新破裂带长度为60 km,垂直错距2.3

m,左旋错距5.3 m,可得如下震级(表1)。
以上关系式得到的几个震级基本在7.5级附近,由于断裂处于挤压构造区,地表变形与破裂的表现形式复杂多样,变形带分布范围很大,很大一部分能量被地表挤压吸收,造成沉积盖层逆冲叠瓦状变形,因此实际震级可能更大。

5 结论

- (1) 迈丹断裂存在明显的走滑特征,是一条逆冲走滑型活动断裂。
- (2) 迈丹断裂阿合奇段由3条产状相近且大致平行的次级逆断层组成,倾向N,倾角20~70°。
- (3) 迈丹断裂发生过多次中强地震,是一条发震断裂,地震离逝时间为 (1.76 ± 0.22) ka,震级应不小于 $M_s 7.5$ 。

参考文献(References)

[1] 田勤俭,丁国瑜,郝平.南天山及塔里木北缘构造带西段地震构造研究[J].地震地质,2006,28(2):213-223.
TIAN Qin-jian, DING Guo-yu, HAO Ping. Seismotectonic Study on West Part of the Interaction Zone Between Southern Tianshan and Northern Tarim[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(2): 213-223. (in Chinese)

[2] 刘代芹,李杰,王晓强,等.新疆及邻近地区重力场变化特征研究[J].地震工程学报,2014(2):331-337.
LIU Dai-qin, LI Jie, WANG Xiao-guang, et al. Variation Characteristics of a Recent Gravity Field in Xinjiang and its Adjacent Regions[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014 (2): 331-337. (in Chinese)

[3] 陈杰,丁国瑜, Burbank D W, et al. 中国西南天山山前的晚新生代构造与地震活动[J].中国地震,2001(2):34-55.
CHEN Jie, DING Guo-yu, Burbank, D W, et al. Late Cenozoic Tectonics and Seismicity in the Southwestern Tianshan, China [J]. Earthquake Research in China, 2001(2): 34-55. (in Chinese)

[4] 郑民,雷刚林,黄少英,等.南天山西段南缘断裂构造特征及对乌什凹陷发育的控制[J].地质科学,2007,42(4):639-655.
ZHENG Min, LEI Gang-lin, HUANG Shao-ying, et al. Features of Fault Structure in Southern Margin of West Segment of the South Tianshan, and Its Control to Evolution of the Wushi Sag[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(4): 639-655. (in Chinese)

[5] 杨晓平,冉洪流.活动推覆构造区潜在震源的边界和震级上限——以1902年阿图什8¼级地震构造区为例[J].震灾防御技术,2010,5(2):145-156.
YANG Xiao-ping, RAN Hong-liu. The Boundary and Upper Limit Magnitude of Potential Seismic Source Zone in Active Nappe Structure Region——An Example from $M 8 \frac{1}{4}$ Atushi Seismic Structure Region [J]. Technology for Earthquake

- Disaster Prevention, 2010, 5(2): 145-156. (in Chinese)
- [6] Yin A, Nie P, Harrison T M. Late Cenozoic Tectonics Evolution of the Southern Chinese Tian Shan[J]. Tectonics, 1998, 17(1): 1-27.
- [7] Allen M B, Vincent S J. Late Cenozoic Tectonics of the Kepingtage Thrust Zone: Interactions of the Tien Shan and Tarim Basin, Northwest China[J]. Tectonics, 1999, 18(4): 639-654.
- [8] 曲国胜, 陈杰, 陈新发, 等. 塔里木盆地阿图什—八盘水磨反冲构造系统研究[J]. 地震地质, 2001, 23(1): 1-14.
QU Guo-sheng, CHEN Jie, CHEN Xin-fa, et al. A Study on the Back-thrusting System at Atushi—Bapanshuimo in Tarim basin[J]. Seismology and Geology, 2001, 23(1): 1-14. (in Chinese)
- [9] 张希, 崔笃信, 郝明, 等. 全国主要构造区近期应变积累动态演化研究[J]. 地震工程学报, 2014, 36(1): 61-68.
ZHANG Xi, CUI Du-xing, HAO Ming, et al. Research on Dynamic Evolution of Strain Accumulation in Main Tectonic Areas of China[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(1): 61-68. (in Chinese)
- [10] 卢华复, 贾东, 蔡东升. 塔西北柯坪剪切挤压构造[J]. 高校地质学报, 1998, 4(1): 49-58.
LU Hua-fu, JIA Dong, CAI Dong-sheng. On the Kalpin Transpression Tectonics of Northwest Tarim[J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(1): 49-58. (in Chinese)
- [11] Dong Jia, Hua-fu Lu, Cheng-zao Jia, et al. Structural Features of Northern Tarim Basin: Implications for Regional Tectonics and Petroleum Traps: Reply[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(8): 1284-1286.
- [12] 郭建明. 南天山活动构造与遥感图像特征研究[D]. 兰州: 中国科学院研究生院(兰州地质研究所), 2002.
GUO Jia-nming. Characteristics of Active Tectonics and Remote Sensing Images In South Tian Shan, Northwestern China[D]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Geology, CAS, 2002. (in Chinese)
- [13] Mark B Allen, Stephen J Vincent. Structural Features of Northern Tarim Basin: Implications for Regional Tectonics and Petroleum Traps: Discussion. AAPG Bulletin, 1999, 83(8): 1279-1283.
- [14] 付碧宏, 贾营营. 南天山乌什前陆逆冲褶皱构造带的晚新生代构造地貌特征与地震活动[J]. 地质科学, 2010(4): 917-929.
FU Bi-hong, JIA Ying-ying. Late Cenozoic Tectono-geomorphology and Seismicities of the Wushi Thrust and Fold Belt, Southern Tianshan[J]. Chinese Journal of Geology, 2010(4): 917-929. (in Chinese)
- [15] 杨成荣, 吴传勇, 聂晓红. 2009 年 4 月 19 日新疆阿合奇 5.4 级地震[J]. 内陆地震, 2010, 24(4): 315-322.
YANG Cheng-rong, WU Chuan-yong, NIE Xiao-hong. Study on Aheqi 5.4 Earthquake in Xinjiang on APR. 19, 2009[J]. Inland Earthquake, 2010, 24(4): 315-322. (in Chinese)
- [16] 曲国胜, 李亦纲, 陈杰, 等. 柯坪塔格推覆构造几何学、运动学及其构造演化[J]. 地学前缘, 2003, 10(U08): 142-152.
QU Guo-sheng, LI Yi-gang, CHEN Jie, et al. Geometry, Kinematics and Tectonic Evolution of Kepingtage Thrust System[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(U08): 142-152. (in Chinese)
- [17] Mark R K, Bonla M G. Regreion Analysis of Earthquake Magnitude and Surface Fault Length Using the 1970 Data of Bomlla and Buchanan[R]. USGS, 1977, 8: 77-614.
- [18] 陈选生. 地震引起的地表破裂长度与震级之间的经验关系[J]. 华北地震科学, 1984, 2(3): 5-8.
CHEN Xuan-sheng. Statistical Regressions Between Magnitude and Earthquake Rupture Parameters[J]. North China Earthquake Sciences, 1984, 2(3): 5-8. (in Chinese)
- [19] 邓起东, 于贵华, 叶文华. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[A]//活动断裂研究(2). 北京: 地震出版社, 1992: 247-264.
DENG Qi-dong, YU Gui-hua, YE Wen-hua. Relationship Between Earthquake Magnitude and Parameters of Surface Rupture Associate with Historical Earthquake[A]//Research on Active Fault(2). Beijing: Seismological Press, 1992: 247-264. (in Chinese)
- [20] 冉洪流. 中国西部走滑型活动断裂的地震破裂参数与震级的经验关系[J]. 地震地质, 2011, 33(3): 577-585.
RAN Hong-liu. Empirical Relations Between Earthquake Magnitude and Parameters of Strike-slip Seismogenic Active Faults Associated with Historical Earthquakes in Western China[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(3): 577-585 (in Chinese)