

程佳、刘杰、盛书中等, 2014, 2014年新疆于田 $M_s 7.3$ 强震构造背景及其与 2008年 $M_s 7.3$ 地震之间的关系讨论, 中国地震, **30**(2), 143~150。

· 研究专题 ·

2014年新疆于田 $M_s 7.3$ 强震构造背景及其与 2008年 $M_s 7.3$ 地震之间的关系讨论

程佳¹⁾ 刘杰¹⁾ 盛书中²⁾ 姚琪¹⁾ 刘代芹³⁾

1) 中国地震台网中心, 北京市西城区三里河南横街5号 100045

2) 防灾科技学院, 河北三河 065201

3) 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011

摘要 首先介绍了2014年2月12日新疆于田 $M_s 7.3$ 地震的区域构造背景与断裂活动情况; 然后分析了此次 $M_s 7.3$ 地震震中位置以及周边历史地震震源机制特征, 认为2014年2月12日于田 $M_s 7.3$ 地震发生在阿什库勒断裂东支上, 2014年 $M_s 7.3$ 地震和2008年 $M_s 7.3$ 地震是阿尔金断裂带南端尾部向西南方向延伸, 由左旋走滑为主逐渐转变为拉张作用为主的过程中, 在阿什库勒断裂带不同位置发生的2次地震, 它们存在着相同的力源作用, 2008年 $M_s 7.3$ 地震对2014年 $M_s 7.3$ 地震的发生有促进作用; 最后利用分层地壳模型计算了2008年 $M_s 7.3$ 地震对2014年 $M_s 7.3$ 地震的库仑应力作用, 结果同样显示2008年 $M_s 7.3$ 地震促进了2014年 $M_s 7.3$ 地震的发生。

关键词: 2014年于田 $M_s 7.3$ 地震 构造背景 发震断层 2008年于田 $M_s 7.3$ 地震

[文章编号] 1001-4683(2014)02-0143-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2014年2月12日17时19分, 在阿尔金断裂带南部尾端地区发生了于田 $M_s 7.3$ 地震。USGS给出的震中位置为 $35.922^\circ\text{N}, 82.549^\circ\text{E}$, 震级为 $M_w 6.9$ (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000mnvj>), 中国地震局地球物理所房立华等对该地震的精定位结果显示震中位于 $36.026^\circ\text{N}, 82.556^\circ\text{E}$ (<http://www.cea-igp.ac.cn/tpxw/269361.shtml>)。Global CMT Catalog震后快速处理结果给出的震源机制参数显示该地震为左旋走滑型地震 (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>)。中国科学院地质与地球物理所王卫民等给出的震源破裂过程显示破裂位于近NE向断层上, 最大同震滑动距离为2.79m (http://www.igg.cas.cn/xwzx/yjcg/201402/t20140214_4032524.html)。

[收稿日期] 2014-03-04; [修定日期] 2014-03-23

[项目类别] “十二·五”国家科技支撑计划项目(2012BAK19B02)资助

[作者简介] 程佳, 男, 1982年生, 助理研究员, 主要从事活动构造、地壳形变、强震模拟和预测方面的研究。

Email: chengjiajc@gmail.com

2014年于田 $M_s7.3$ 地震震中位于青藏高原与塔里木块体的交界部位,平均海拔5000m以上,有关该地区的研究资料极为有限,而对地震的构造背景和发震模式的研究是认识此次地震的关键所在。因此,本文结合前人的研究结果介绍了该区域地壳运动和断裂活动特征以及历史地震分布与震源机制类型,并通过计算2008年于田 $M_s7.3$ 地震对2014年于田 $M_s7.3$ 地震的同震库仑应力作用来讨论两者之间的相互关系。

1 区域地质构造背景与断裂活动特征

2014年于田 $M_s7.3$ 地震发生在我国西部大型左旋走滑断裂——阿尔金断裂带的尾部拉张区,该区域为巴颜喀拉块体与其西侧的西昆仑块体的连接部位(图1)。西侧的西昆仑块体包括了北昆仑构造带、中昆仑构造带和喀喇昆仑构造带(甜水海地体)。喀喇昆仑构造带主要受印度板块对欧亚大陆向北推挤作用的影响,其南北边界分别为喀喇昆仑断裂和天神达坂断裂(郑剑东,1993;陈应涛等,2010)。喀喇昆仑断裂表现出右旋走滑特征,而天神达坂断裂在1996年11月19日发生过左旋走滑型的 $M_s7.1$ 地震(罗福忠等,2003)。中昆仑构造带的东边界为阿尔金断裂带尾端多条雁型排列的NE向断裂带(图2),在这些NE向断裂上曾发生了于田2008年 $M_s7.3$ 、2014年 $M_s7.3$ 地震。北昆仑构造带为一条挤压造山带。东侧的巴颜喀拉块体周缘断裂是我国强震活动最为频繁的区域,自1997年玛尼 $M_s7.5$ 地震以来,巴颜喀拉块体周缘7级强震持续发生,其中包括了发生在东昆仑断裂上的2001年昆仑山口西 $M_s8.1$ 地震和龙门山断裂带上的2008年汶川 $M_s8.0$ 地震(程佳等,2011;邓

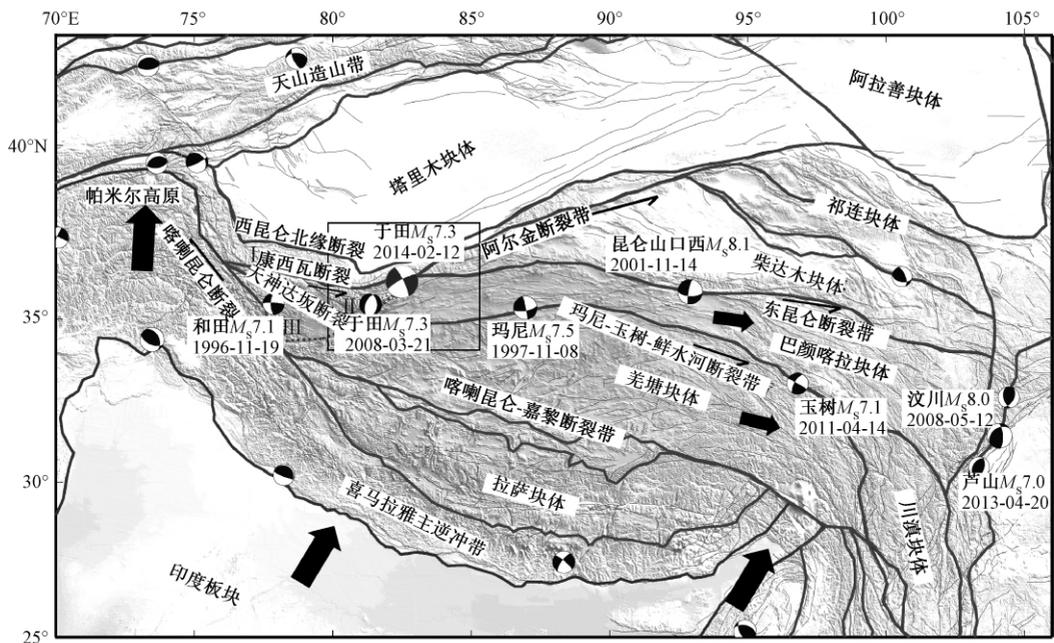


图1 青藏高原主要活动地块与1976年以来7级地震分布

黑色矩形框为本研究区域;块体模型来源于张培震等(2003)文献;震源机制解来源于 Global CMT Catalog

I 北昆仑构造带;II 中昆仑构造带;III 喀喇昆仑构造带

起东等,2010;高翔等,2013; Yu et al,2013) (图 1)。这些地震的发生显示巴颜喀拉块体向东挤出运动强烈,而这一运动在块体西侧表现为左旋走滑兼具拉张作用的断裂活动特征,2014 年 $M_s7.3$ 地震的发生,也延续了巴颜喀拉块体西缘自 2008 年 3 月 21 日于田 $M_s7.3$ 、2012 年 8 月 12 日 $M_s6.2$ 地震以来的强震活动状态,该区域地壳形变特征值得研究。

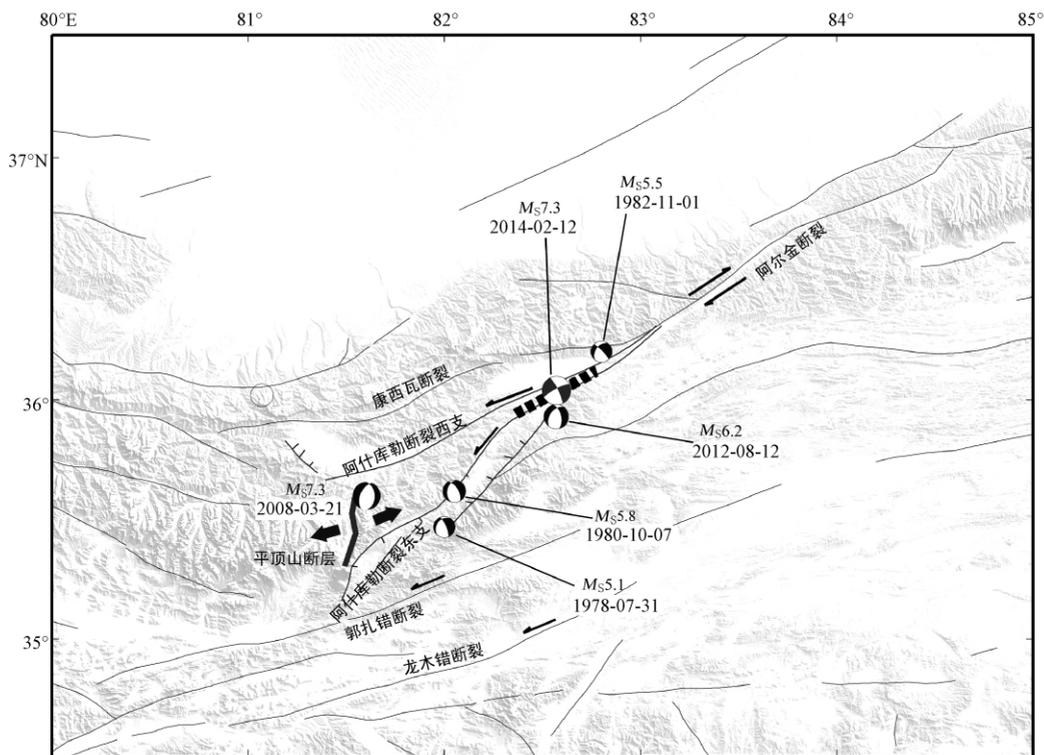


图 2 2014 年于田 $M_s7.3$ 地震区主要活动断裂构造及历史地震分布
断裂数据根据李海兵等(2006)的文献修改;震源机制解来源于 Global CMT Catalog

研究区域的地壳形变主要表现为以下特征:印度板块对于青藏高原的近南北向挤压作用使得区域整体受到南北向的挤压作用(郑剑东,1993);区域东侧则主要表现为青藏高原向东和向北的快速挤出(Tapponnier et al,1976; Avouac et al, 1993),这种南北向的挤压和东向挤出并存,并形成了该区域以东、西拉张作用为主的构造环境(Taylor et al,2009)。

从断裂活动角度看,本研究区域最主要特点表现为阿尔金断裂带尾部拉张作用形成的多条左旋走滑型断裂带,并伴有拉张活动特征(徐锡伟等,2011;李海兵等,2006),其中主要包括了阿什库勒断裂东、西两支以及康西瓦断裂等(图 2)(潘家伟,2011)。其中康西瓦断裂带(又名:喀拉喀什断裂)因其走向与阿尔金断裂带不同,因此许多研究认为康西瓦断裂不能归于阿尔金断裂带(郑剑东,1993;鲁如魁等,2007)。但由于该断裂的活动性质、构造演化历史与深部地球物理结构及其地球化学特征等都与阿尔金断裂带一致,因此也有研究将康西瓦断裂称为阿尔金断裂带喀拉喀什段(Yin et al,2002;Taylor et al,2009; Xu et al,2013;Li et al,2012)。该断裂带活动强烈,具有强震发生背景(付碧宏等,2009)。李海兵等(2006)、高翔等(2013)均认为康西瓦断裂带的滑动速率比阿尔金断裂带主体部分要小,其

滑动速率可能由其它分支断裂分担。阿什库勒断裂则是其中另一条活动程度较高的断裂,可分为东、西两支(国家地震局阿尔金活动断裂带课题组,1992)。潘家伟(2011)通过对阿什库勒断裂西支周边火山和盆地成因进行分析后认为,阿什库勒断裂带可能是一条深达地幔、具有左旋走滑并伴随有地幔岩浆上升的断裂带。该断裂两侧分布有全新世火山群和两组次级断裂,其中一组为平行于阿什库勒断裂的左旋走滑断裂,另一组为近SN向的正断层。阿什库勒断裂第四纪以来强烈活动,其左旋走滑速率大致在 $0.34 \sim 1.9 \text{ mm/a}$ (潘家伟,2011)(图2)。

综上所述,本次地震发生在阿尔金左旋走滑断裂带尾端拉张区,该区域受到了南北向的挤压作用和东西向的拉张作用,其中东西向拉张作用明显,区域存在发生左旋和拉张型强震的构造背景。

2 区域强震活动特征

2014年于田 $M_s7.3$ 地震发生于高海拔的无人区,历史地震和活动构造研究资料较少,前人在研究2008年于田 $M_s7.3$ 地震时给出了一系列的区域断裂活动特征(潘家伟,2011;Li et al,2012)。根据房立华等提供的精定位震中位置,2014年于田 $M_s7.3$ 地震震中位于阿什库勒断裂东支上(图2),中国地质科学院地质研究所根据卫星影像资料在该断裂上也发现了10km长的NE向地表破裂带(<http://www.ccsd.cn/shownews.asp?id=479>)。根据Wells等(1994)给出的经验公式,该地震的破裂长度可能达到42km(图2)。

在区域历史地震资料研究上,我们搜集到了Global CMT Catalog给出的位于阿尔金断裂尾端的6次5级以上地震的震源机制解,其中包括1978年7月31日 $M_s5.1$ 、1980年10月7日 $M_s5.8$ 、1982年11月1日 $M_s5.5$ 、2008年3月21日 $M_s7.3$ 、2012年8月12日 $M_s6.2$ 和2014年2月12日 $M_s7.3$ 地震。这些地震基本上分布于阿尔金断裂带主干部分的南端至郭扎错断裂带之间的阿什库勒断裂东、西两支上,只有2008年 $M_s7.3$ 地震位于两条断裂南端近SN向的正断层——平顶山断层上(潘家伟,2011),其地表破裂长度达31km(徐锡伟等,2011)。由震源机制解可见:1978年 $M_s5.1$ 、1980年 $M_s5.8$ 和2012年 $M_s6.2$ 地震为左旋走滑兼具拉张型地震;2008年 $M_s7.3$ 地震的破裂面为走向 203° ,倾角 52° ,滑动角 -74° ,标量地震矩为 $5.432 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$,断裂面西倾,以拉张作用为主要特征;2014年 $M_s7.3$ 地震则为左旋走滑型地震,走向 242° ,倾角 82° ,滑动角 -4° ;另外,位于阿什库勒断裂西支上2014年 $M_s7.3$ 地震震中NE侧的1982年 $M_s5.5$ 地震的左旋走滑作用也较明显。从这6次地震的震中位置和震源机制解类型可以看出,在北段阿什库勒断裂东、西两支相距较近,且主要表现为左旋走滑活动特征,发生了2014年 $M_s7.3$ 、1982年 $M_s5.5$ 地震。在2014年于田 $M_s7.3$ 地震破裂带向SW向延伸过程中(图2),这两条断裂间的距离逐渐变大,阿什库勒东支断裂主要表现为拉张兼具左旋走滑作用,发生了1978年 $M_s5.1$ 、1980年 $M_s5.8$ 和2012年 $M_s6.2$ 地震。根据Furuya等(2011)的研究结果,2008年 $M_s7.3$ 地震可能存在着2个破裂面,即NW向的拉张型主破裂面和NE向的左旋走滑次破裂面,这一左旋走滑次破裂面与阿什库勒断裂带西支的位置和走向一致,表明阿什库勒断裂西支南段可能仍然呈左旋走滑特征。在两条断裂尾端,平顶山断层主要表现为拉张作用,发生了2008年 $M_s7.3$ 拉张型地震。从上述断裂活动特征可以看出,2008年 $M_s7.3$ 地震的拉张作用和2014年 $M_s7.3$ 地震的左旋

走滑作用是在阿尔金断裂尾端向 SW 向延伸过程中,左旋走滑作用向拉张作用逐渐过渡过程中发生的 2 次地震事件,因此两次地震具有相同的力源。从运动方式上看,2008 年 $M_s7.3$ 地震的拉张运动对 2014 年于田 $M_s7.3$ 地震有明显的促进作用(图 2)。

3 2008 年 $M_s7.3$ 地震与 2014 年 $M_s7.3$ 地震的关系

基于 2008 年 $M_s7.3$ 、2014 年 $M_s7.3$ 地震的发震断层之间的上述关系,本文利用 PSGRN/PSCMP 程序计算了 2008 年 $M_s7.3$ 地震对 2014 年 $M_s7.3$ 地震的库仑应力作用(Wang et al,2006),研究区域为图 1 中的方框区域。其中断层破裂参数采用了 Ji Chen 的结果(http://www.geol.ucsb.edu/faculty/ji/big_earthquakes/2008/03/20/Xinjiang_206.html),地壳分层模型来源于张晁军等(2008)和程佳等(2011)在研究巴颜喀拉块体北缘昆仑山口西地震时所使用的地壳结构模型(表 1)。

表 1 本研究所用的地壳与上地幔模型参数

序号	层名	厚度(km)	v_p ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	v_s ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	G ($\times 10^{10}$ Pa)	η (Pa·s)	ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
1	沉积层	4	4.8	2.771	4.0	1.0×10^{21}	2600
2	上地壳 I	6	5.9	3.406	4.0	1.0×10^{21}	2700
3	上地壳 II	18	5.9	3.406	4.0	2.0×10^{19}	2850
4	中地壳	20	6.3	3.579	4.0	6.3×10^{18}	3000
5	下地壳	20	7.1	4.110	5.0	6.3×10^{18}	3100
6	上地幔	1000	8.2	4.734	6.5	1.0×10^{20}	3320

注: G 为剪切模量; η 为粘滞系数; ρ 为地壳岩石密度

由于缺乏准确的地壳模型参数,本文只定性地分析了于田 2008 年 $M_s7.3$ 地震对 2014 年 $M_s7.3$ 地震的同震库仑应力作用,接收断层参数选择了 Global CMT Catalog 给出的震源机制解参数,即走向 242° 、倾角 82° 、滑动角 -4° 。下式为库仑应力变化计算公式, $\Delta\tau$ 为剪应力变化, $\Delta\sigma_n$ 为正应力变化, μ' 为内摩擦系数,本文取 $\mu'=0.4$ 。

$$\Delta CFS = \Delta\tau - \mu' \Delta\sigma_n \quad (1)$$

本文计算的 10 km 深处的库仑应力结果显示(图 3),2008 年 $M_s7.3$ 地震对 2014 年 $M_s7.3$ 地震有明显的能量促进作用,其库仑应力值在阿什库勒断裂东支北东段为正值,在 2014 年 $M_s7.3$ 地震震中处为 0.043bar,其最左侧的库仑应力值达到了 0.204bar,这与万永革等(2010)给出的 2008 年 $M_s7.3$ 地震对阿什库勒断裂东支(空喀山断裂)北东段 2014 年 $M_s7.3$ 地震震中位置的 0.024 bar 的结果接近。在该计算过程中,由于发震断层模型、接收断层参数、地壳结构参数、内摩擦参数等的选取均可能产生误差,其中本文选取的接收断层为 2014 年 $M_s7.3$ 地震震源机制解参数,这可能使得本文的计算结果与万永革等(2010)存在着一定的误差。但从整体上看,本文与万永革等(2010)均得出了 2008 年 $M_s7.3$ 地震对 2014 年 $M_s7.3$ 地震有促进作用的结论。

4 结论

2014 年 2 月 12 日新疆于田 $M_s7.3$ 地震发生在阿尔金断裂带南端,其构造区域受到近南北向印度板块对欧亚大陆的挤压和巴颜喀拉块体向东拉张作用的影响,易发生左旋走滑

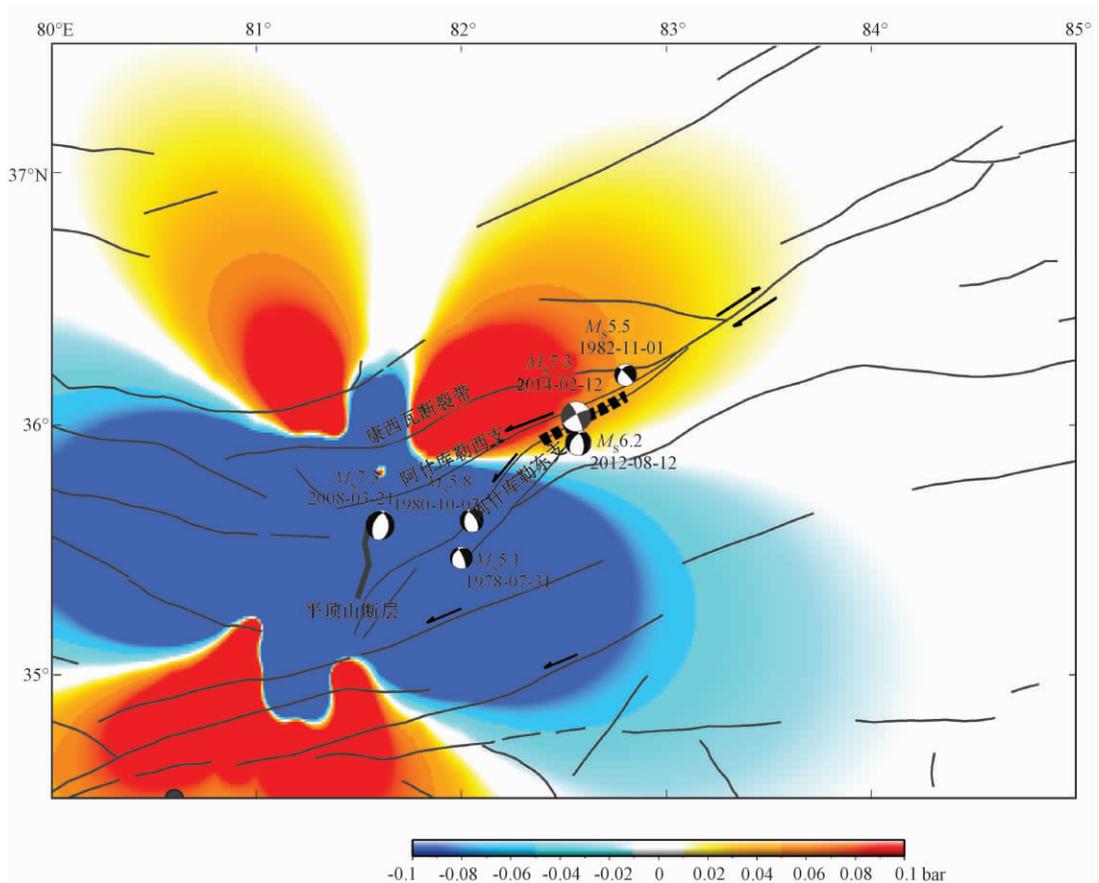


图3 于田2008年7.3级地震对2014年7.3级地震的同震库仑应力作用

与正断型为主的地震。

从区域强震发生历史可以看出,本次地震发生在阿什库勒断裂带东支上。阿什库勒断裂是一条以左旋走滑为主的断裂带,分为东、西两支。在阿尔金断裂带南端尾部向西南方向延伸过程中,运动方式由左旋走滑为主逐渐转变为以拉张作用为主要特征,2014年 $M_s7.3$ 、2008年 $M_s7.3$ 地震正是这种运动方式转变过程中在阿什库勒断裂带不同位置发生的2次地震,2条发震断层存在着相同的力源作用,2008年 $M_s7.3$ 地震对2014年 $M_s7.3$ 地震的发生有促进作用。

根据利用分层地壳模型计算的同震库仑应力结果,认为2008年 $M_s7.3$ 地震对2014年 $M_s7.3$ 地震的整个发震断层面均有触发作用,震中处库仑应力变化值为0.043bar,促使了2014年 $M_s7.3$ 地震的提前发生。

致谢:感谢两位匿名审稿专家对论文修改提出的宝贵建议。

参考文献

陈应涛、张国伟、鲁如魁等,2010,青藏高原西北缘郭扎错断裂 $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ 年代学研究——阿尔金断裂西延的新证据,地质

- 通报, **29** (8), 1129 ~ 1137。
- 程佳、刘杰、甘卫军等, 2011, 1997 年以来巴颜喀拉块体周缘强震之间的粘弹性触发研究, *地球物理学报*, **54** (8), 1997 ~ 2010。
- 邓起东、高翔、陈桂华等, 2010, 青藏高原昆仑-汶川地震系列与巴颜喀喇断块的最新活动, *地学前缘*, **17** (5), 163 ~ 178。
- 付碧宏、时丕龙、贾营营, 2009, 青藏高原大型走滑断裂带晚新生代构造地貌生长及水系响应, *地质科学*, **44** (4), 1343 ~ 1643。
- 高翔、邓起东, 2013, 巴颜喀喇断块边界断裂强震活动分析, *地质学报*, **87** (1), 9 ~ 19。
- 国家地震局阿尔金活动断裂带课题组, 1992, 阿尔金活动断裂带, 85 ~ 86, 北京: 地震出版社。
- 李海兵、Valli F、许志琴等, 2006, 喀喇昆仑断裂的变形特征及构造演化, *中国地质*, **33** (2), 239 ~ 255。
- 鲁如魁、张国伟、钟华明等, 2007, 从郭扎错断裂构造特征探讨阿尔金断裂带西延问题, *中国地质*, **34** (2), 229 ~ 239。
- 罗福忠、曲延军、王坚, 2003, 1996 年 11 月 19 日新疆和田喀喇昆仑山口 7.1 级地震, *内陆地震*, **17** (1), 33 ~ 38。
- 潘家伟, 2011, 西昆仑构造地貌与阿什库勒地区活动构造研究, 博士论文, 123 ~ 126, 北京: 中国地质科学院。
- 万永革、沈正康、盛书中等, 2010, 2008 年新疆于田 7.3 级地震对周围断层的影响及其正断层机制的区域构造解释, *地球物理学报*, **53** (2), 280 ~ 289。
- 徐锡伟、谭锡斌、吴国栋等, 2011, 2008 年于田 $M_s7.3$ 地震地表破裂带特征及其构造属性讨论, *地震地质*, **33** (2), 462 ~ 471。
- 张晔军、曹建玲、石耀霖, 2008, 从震后形变探讨青藏高原下地壳粘滞系数, *中国科学 D 辑*, **38** (10), 1250 ~ 1257。
- 张培震、邓起东、张国民等, 2003, 中国大陆的强震活动与活动地块, *中国科学 D 辑*, **33** (B04), 12 ~ 19。
- 郑剑东, 1993, 喀喇昆仑断层与塔什库尔干地震形变带, *地震地质*, **15** (2), 107 ~ 112。
- Avouac J, Tapponnier P, 1993, Kinematic model of active deformation in Central Asia, *Geophys Res Lett*, **20**, 895 ~ 898。
- Furuya M, Yasuda T, 2011, The 2008 Yutian normal faulting earthquake ($M_w7.1$), NW Tibet: Non-planar fault modeling and implications for the Karakax Fault, *Tectonophysics*, **511**, 125 ~ 133。
- Li H, Van der Woerd J, Sun Z, et al, 2012, Co-seismic and cumulative offsets of the recent earthquakes along the Karakax left-lateral strike-slip fault in western Tibet, *Gondwana Research*, **21** (1), 64 ~ 87。
- Tapponnier P, Molnar P, 1976, Slip-line field theory and large-scale continental tectonics, *Nature*, **264**, 319 ~ 324。
- Taylor M, Yin A, 2009, Active structures of the Himalayan-Tibetan orogen and their relationships to earthquake distribution, contemporary strain field, and Cenozoic volcanism, *Geosphere*, **5** (3), 199 ~ 214。
- Wang R, Lorenzo-Martin F, Roth F, 2006, PSGRN/PSCMP-A new code for calculating coseismic and postseismic deformation, geoid and gravity changes based on the viscoelastic-gravitational dislocation theory, *Comput Geosci*, **32** (4), 527 ~ 541。
- Wells D, Coppersmith K, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture area, and surface displacement, *Bull Seis Soc Am*, **84** (4), 974 ~ 1002。
- Xu X, Tan X, Yu G, et al, 2013, Normal-and oblique-slip of the 2008 Yutian earthquake: Evidence for eastward block motion, northern Tibetan Plateau, *Tectonophysics*, **584** (22), 152 ~ 165。
- Yin A, Rumelhart P, 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。
- Yu H, Cheng J, Zhang X, et al, 2013, Multi-methods combined analysis of the future earthquake potential, *Pure Appl Geophys*, **170** (1-2), 173 ~ 183。

Tectonic background of the Yutian M_s 7.3 earthquake and its relationship with the Yutian M_s 7.3 earthquake in 2008

Cheng Jia¹⁾ Liu Jie¹⁾ Sheng Shuzhong²⁾ Yao Qi¹⁾ Liu Daiqin³⁾

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China

3) Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract The regional tectonic background and characteristics of active faults of the Yutian M_s 7.3 earthquake on February 12, 2014 are discussed in the paper. After the analysis of the epicenter of the M_s 7.3 earthquake in 2014 and focal mechanism of former strong earthquakes around it, the authors deduced that the seismogenic fault of the M_s 7.3 earthquake is the east branch of the Ashikule fault. The M_s 7.3 earthquake in 2014 and the M_s 7.3 earthquake in 2008 are two strong earthquake events on the different section of the Ashikule fault, where the fault behavior changes from the sinistral slip to normal because of the extensional tail effects in the southern end of the Altyn tagh fault. It is concluded that the two M_s 7.3 earthquakes have the same dynamic source, and the M_s 7.3 earthquake in 2008 promotes the occurrence of the M_s 7.3 earthquake in 2014. Finally, the authors calculate the coulomb stress change to seismogenic fault of the M_s 7.3 in 2014 from the M_s 7.3 earthquake in 2008 using the layered crust model. The result also shows that the M_s 7.3 earthquake in 2008 accelerated the occurrence of the M_s 7.3 earthquake in 2014.

Key words: The Yutian M_s 7.3 earthquake on February 12, 2014 Tectonic background
Seismogenic fault The Yutian M_s 7.3 earthquake in 2008