

张浪平、邵志刚, 2013, 兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动关联分析, 中国地震, 29(1), 1~10。

• 测震 •

兴都库什-帕米尔地区与天山地震带 强震活动关联分析

张浪平 邵志刚

中国地震局地震预测研究所, 北京市复兴路 63 号 100036

摘要 首先通过对区域地质构造背景、地震活动性质以及动力环境等的分析, 认为天山地震带强震活动主要受兴都库什-帕米尔构造结的动力控制。其次分析了兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动之间的相关关系, 结果表明两地区强震成组活动存在一定的同步特征; 进一步考察兴都库什-帕米尔地区中源地震与天山地震带强震活动之间关系, 发现两者同样存在同步特征, 且该区中源地震的活动强度和频度越大, 天山地震带的强震活动越剧烈, 其分布范围也越广。该结果从地震活动的角度反映了兴都库什-帕米尔地区对天山地震带强震活动的动力控制作用。

关键词: 天山地震带 兴都库什-帕米尔 中源地震 强震活动关联

[文章编号] 1001-4683(2013)01-0001-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

众所周知, 与中国大陆接触的板块边界有西北太平洋板块边界、菲律宾海板块边界和印度板块边界, 中国大陆主要通过这些板块边界与外界接触并进行动力传递。周边板块与中国大陆进行动力传递的 4 个重要部位分别是东北深震区、台湾地区、喜马拉雅东构造结、喜马拉雅西构造结, 与天山地震带直接动力相关的便是喜马拉雅西构造结, 也即兴都库什-帕米尔构造结。傅征祥等(1997)通过考察中国大陆及其邻区板内浅源强震空间分布的大尺度不均匀性以及刚性冲模滑移线场理论, 分析认为兴都库什-帕米尔地区是印度板块和欧亚大陆的强耦合区域。因此, 该地区的强震活动, 尤其是该区中源地震活动与天山地震带的强震活动之间可能存在的动力关系是一个非常值得研究的问题。

兴都库什-帕米尔地区地处印度板块和欧亚板块碰撞的西北端, 是地震活动最活跃的地区之一, 也是少有的大陆内部中源地震区, 该区中源地震活动一直是国内外学者关注的焦点。早在 20 世纪 50 年代, Gutenberg 等(1954)以及 Richter(1958)就已经发现该地区存在

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2012-11-16

[项目类别] 国家科技支撑计划项目(2012BAK19B01-04)、中国地震局地震分析预测研究青年工作组专项共同资助

[作者简介] 张浪平, 男, 1982 年生, 博士, 副研究员, 主要从事地震动力学和地震预测研究。E-mail: zlp@seis.ac.cn

深度超过 200km 的中源地震。Nowroozi (1971) 通过对 1950 ~ 1965 年地震资料的分析, 进一步提出帕米尔地区和兴都库什地区分别存在两个不同走向、不同深度的中源地震带。Billington 等 (1977) 精选了 1950 ~ 1973 年的地震资料, 对中源地震分布的几何形态开展了研究, 指出兴都库什-帕米尔地区的中源地震在西部的俯冲角大约为 70° , 在东部大约为 50° 。之后, 学者们围绕兴都库什-帕米尔地区俯冲带的几何形态、俯冲角度等开展了一系列工作 (Roecker et al, 1980; 宁杰远等, 1990; Fan et al, 1994; Pegler et al, 1998; 孙文斌等, 2009; 楼小挺等, 2007)。兴都库什地区和帕米尔地区两个中源地震带之间的关系问题逐渐成为大家讨论的热点。不同学者有不同认识, 大部分认为是双向俯冲, 也有观点认为两者属于同一被扭曲的俯冲带 (Pegler et al, 1998; Vinnik et al, 1977; Pavlis et al, 2000), 少数学者不认为兴都库什-帕米尔地区存在简单的俯冲机制, 而认为是印度板块和欧亚板块的碰撞作用形成了目前的地震带 (Belousov et al, 1980; Verma et al, 1985)。

兴都库什-帕米尔地区是印度板块与欧亚板块碰撞的强烈变形区域和陆内中源地震集中区。在众多学者重点关注兴都库什-帕米尔构造结处两大板块接触模式的同时, 该地区强震活动, 尤其是中源地震活动与天山地震带的强震活动之间可能存在的动力关系也是一个非常值得研究的问题。本文将首先研究区域的地震地质背景与动力环境, 其次将重点考察兴都库什-帕米尔地区的地震活动, 尤其是中源地震活动与天山地震带强震活动之间的相关性。

1 研究区域的地震地质背景

印度板块以约 $50\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 的速度向北运动 (约 $\text{NE}23^\circ$) (Paul et al, 2001), 与欧亚板块碰撞汇聚于喜马拉雅弧, 在兴都库什-帕米尔构造结产生了剧烈变形。在印度板块北向推挤的过程中, 先后受到了塔里木盆地、塔吉克盆地、哈萨克地台、准噶尔盆地和西伯利亚地台等的阻挡, 在盆地推挤作用下由南向北依次形成了昆仑山、天山和阿尔泰山, 其形成过程与青藏高原“盆-岭”构造类似 (Molnar et al, 1975; Tapponnier et al, 2001)。基于 GPS 形变观测结果 (Wang et al, 2001; Burchfiel, 2004; 牛之俊等, 2005; 杨少敏等, 2008; He et al, 2003), 研究区域的地壳变形速率呈现明显的非均匀性, 总体呈现出明显的自西向东、自南向北逐渐衰减的态势, 天山地震带近 EW 向的山前主断裂西段滑动速率约为 $20\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$, 东段仅约为 $2\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。这表明印度板块的北向推挤作用在不同区带的大小是不一样的, 导致的地表形变和地貌特征也截然不同; 同时, 印度板块的推挤作用从喜马拉雅弧、青藏高原一直影响到天山、准噶尔盆地, 向北的推挤作用逐渐变弱, 而蒙古-阿尔泰山地区和贝加尔地区则主要是受北部西伯利亚地台的阻挡 (宋和平等, 2007)。

研究区域为印度-欧亚两大板块碰撞区, 断裂构造十分发育, 块体间的不同动力作用主导性地控制了研究区域深大断裂的构造性质。南部的断裂主要受印度板块的北向推挤和在推挤作用下塔里木盆地的顺时针旋转作用, 天山地区以 NWW 或近 EW 方向的逆冲性质断裂运动为主; 西昆仑山地区为反“ \sim ”状的弧形, 两端弧具压性特征, 而中间部分为 NNW 方向, 具有压扭性质, 同时存在 NNW 向的走滑断裂; 阿尔金山地区以 NE-NEE 方向的左旋走滑运动为主; 北部阿尔泰山地区则主要是受西伯利亚地台的阻挡, 该地区构造表现为 NW-NNW 方向, 以右旋走滑运动为主的特征 (图 1)。

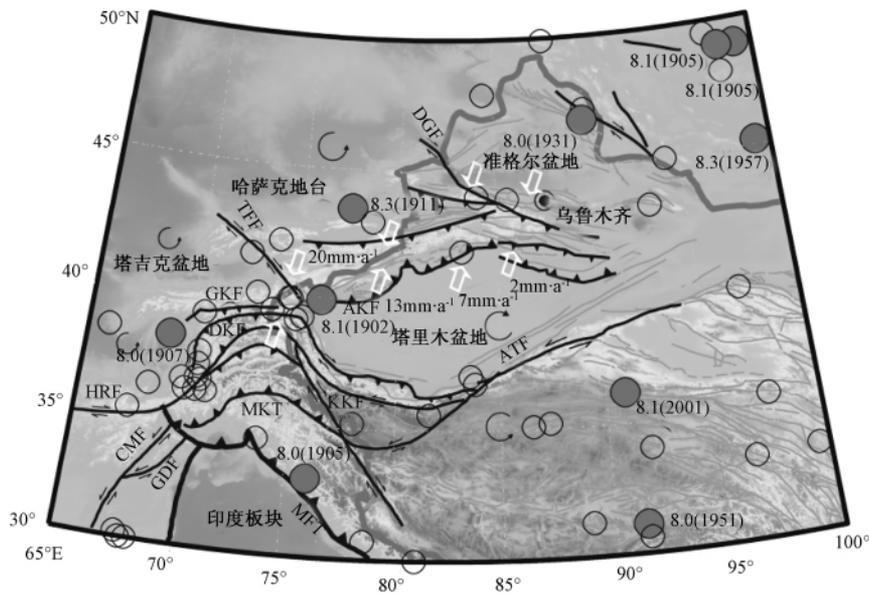


图1 新疆及周边地区地质构造背景与历史强震活动分布

地质构造背景综合了文献(Fan et al, 1994; Pegler et al, 1998; Koulakov et al, 2006; 邓起东等, 2000)所给的断层分布, 其中锯齿状黑色粗线条为印度板块边界(MFT), 黑粗线为研究区域主要断裂(GDF: 加德兹断裂; CMF: 基曼断裂; HRF: 赫拉特断裂; MKT: 喀喇昆仑主逆冲断裂; KKF: 喀喇昆仑断裂; ATF: 阿尔金断裂; DKF: 达沃兹-卡拉库勒断裂; GKF: 吉萨彦-阔克萨彦断裂; AKF: 阿图什-柯坪断裂; TFF: 特拉斯-费尔干纳断裂; DGF: 准噶尔断裂), 灰细线为中国断层。白色箭头表示天山地震带的地壳缩短速率(He et al, 2003)。实心圆和空心圆分别表示 1900 年以来的 8 级和 7 级地震, 历史地震目录 1911 年之前的资料取自《中国历史地震目录》(国家地震局震害防御司, 1995), 1912 ~ 1990 年的取自《中国近代地震目录》(中国地震局震害防御司, 1999), 1991 年之后的取自《地震目录汇编》^①以及中国数字地震台网中心地震目录

研究区域受两大板块碰撞汇聚的动力影响, 历史地震活动强烈。在新疆境内曾发生 1902 年 8 月 22 日阿图什 8 $\frac{1}{4}$ 级、1906 年 12 月 23 日玛纳斯 7.7 级和 1931 年 8 月 11 日富蕴 8 级地震。1902 年阿图什 8 $\frac{1}{4}$ 级地震, 发生于托特拱拜孜断裂, 具有强烈的逆冲性质兼有一定的左旋走滑; 1906 年玛纳斯 7.7 级地震, 位于 NWW 走向的准噶尔盆地南缘断裂带上, 区域构造应力与现今应力相一致, 为稳定的近 SN 向的水平压应力, 地震以逆冲运动为主; 1931 年富蕴 8 级地震, 主断层性质在北部为正-走滑为主, 中部和南部则属于逆-走滑性质, 右旋走滑为主(郭增建等, 1988)。新疆天山及其以北周边地区 1900 年以来的 7 级以上地震见表 1。由表 1 可见, 天山地震带的 7 级以上地震主要表现为逆冲性质, 这表明该区受 SN 向挤压作用为主; 阿尔泰地区主要以走滑性质为主, 表明印度板块北向推挤作用在该区域减弱, 这主要是由于西伯利亚地台的阻挡作用, 导致该区深大断裂大都表现为走滑性质。从 1976 年以来的中强以上地震的震源机制分布情况(图 2)也可以得出类似的认识。

① 中国地震局监测预报司, 2004, 地震目录汇编

表 1 新疆天山及其以北地区历史 7 级以上地震列表

地域	地震参数			地震活动类型	破裂方向	参考文献
	年-月-日	震级	纬度(°N)			
阿尔泰 (戈壁 阿尔泰)	1931-08-10	8.0	46.79	89.90	走滑	Frankel et al, 2010
	1931-08-18	7.1	47.20	90.00		
	1957-12-04	8.3*	45.20	99.19	走滑	Calais et al, 2002
	1960-12-03	7.0*	42.90	104.4	逆冲	鄯家全等, 1979
	1970-05-15	7.0*	50.20	91.19	逆冲	EW Calais et al, 2002; Walker et al, 2006
	1974-07-04	7.0*	45.00	94.19	走滑	175° Calais et al, 2002
	1990-06-14	7.3*	47.90	84.40	走滑	300° gCMT
	2003-09-27	7.9*	49.90	87.90	走滑	132° Nissen et al, 2007
	2003-10-01	7.3*	50.10	87.80		
贝加尔- 杭爱	1905-07-09	8.1*	49.00	99.00	走滑	宋和平等, 2007
	1905-07-11	7.0*	49.50	97.30		
	1905-07-23	8.1*	49.00	98.00		
	1967-01-05	7.0*	48.20	102.9	走滑	15°
	1991-12-27	7.0*	51.20	98.30	走滑	246°
	2011-12-27	7.0*	51.80	95.90	走滑	76° gCMT
	2012-02-26	7.0*	51.70	96.00	逆冲	288°
北天山	1906-12-22	7.7	43.90	85.59	逆冲	270°
	1911-01-03	8.3*	43.50	77.50	逆冲	265° Molnar et al, 2000
	1914-08-04	7.5	43.29	93.09	逆冲	100°
	1944-03-09	7.2	44.00	84.00	走滑	295° 宋和平等, 2007
	1946-11-02	7.5*	41.50	72.50	走滑	120° Molnar et al, 2000
	1978-03-24	7.3*	43.00	78.59	倾滑	112° 宋和平等, 2007
	1992-08-19	7.5*	42.10	73.90	逆冲	221° gCMT
南天山	1902-08-22	7.7	39.90	76.19	逆冲	260° Molnar et al, 2000
	1911-02-18	7.8*	40.00	73.00	走滑	104° Selva et al, 2004
	1944-09-28	7.0	39.09	75.00	逆冲	310°
	1949-02-23	7.1	41.90	83.19	走滑	70°
	1955-04-15	7.0	39.90	74.59	逆冲	298° 宋和平等, 2007
	1955-04-15	7.0	39.90	74.69	逆冲	298°
	1974-08-11	7.3	39.40	73.80	走滑	124° 鄯家全等, 1979
1985-08-23	7.4	39.20	75.30	走滑	316° Molnar et al, 2000	

注: * 表示境外地震; gCMT 表示震源机制解, 来自 <http://www.globalemt.org/CMTsearch.html>

2 兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动关联分析

傅征祥等(1997)的研究表明,兴都库什-帕米尔地区属于印度板块和欧亚大陆的强耦合区域。在此基础上,本文基于前文描述的构造背景和 1900 年以来强震震源机制解的空间分布特征,认为兴都库什-帕米尔构造结是天山地震带地壳变形和地震活动的直接动力源。因此,本节将考察兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动之间的关联。首先分析兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动之间的关系,两地区 7 级以上地震的空间分布见图 3。将两地区的地震事件以发震时间为横轴、以空间位置的经度为纵轴标识在一张图上,结果见图 4。

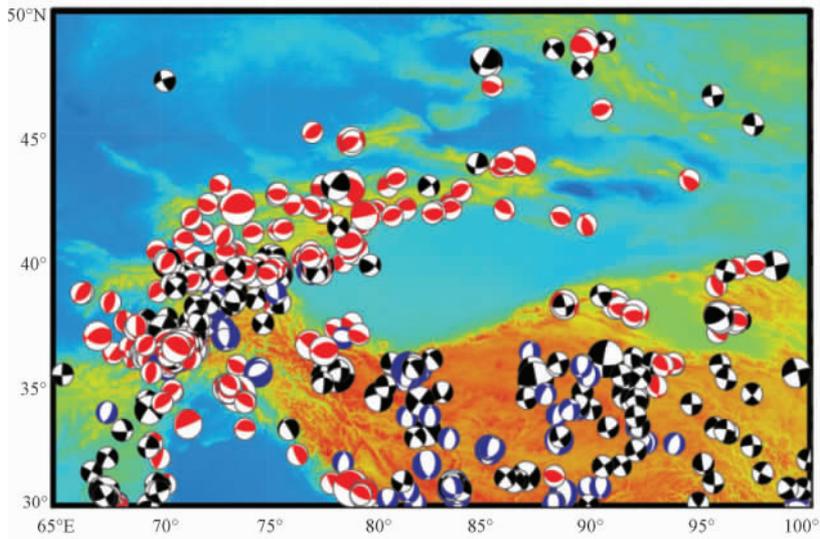


图2 1976~2011年新疆及周边地区地震震源机制解分布情况

黑色表示走滑型;红色逆冲型;蓝色正段型;震源机制来自 <http://www.globalemt.org/CMTsearch.html>

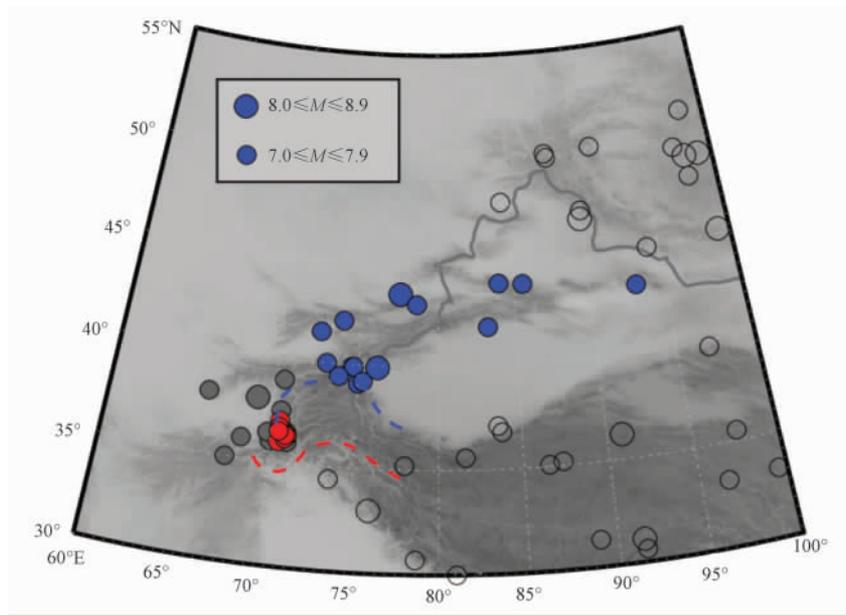


图3 1900年以来新疆及周边地区7级以上地震空间分布图

灰色实心圆为兴都库什-帕米尔地区的7级以上地震;蓝色实心圆为天山地震带的7级以上地震;红色实心圆为兴都库什地区的中源7级地震;黑色空心圆为其他地区的7级以上地震;7级地震目录来源同图1,中源地震目录来源于 Engdahl 等(1998)的文献

从时间上分析,天山地震带1900年以来的7级以上强震活动呈现活跃-平静相互交替的时序特征,先后经历了3个相对活跃时段,依次为1902~1914年、1944~1955年、1974~

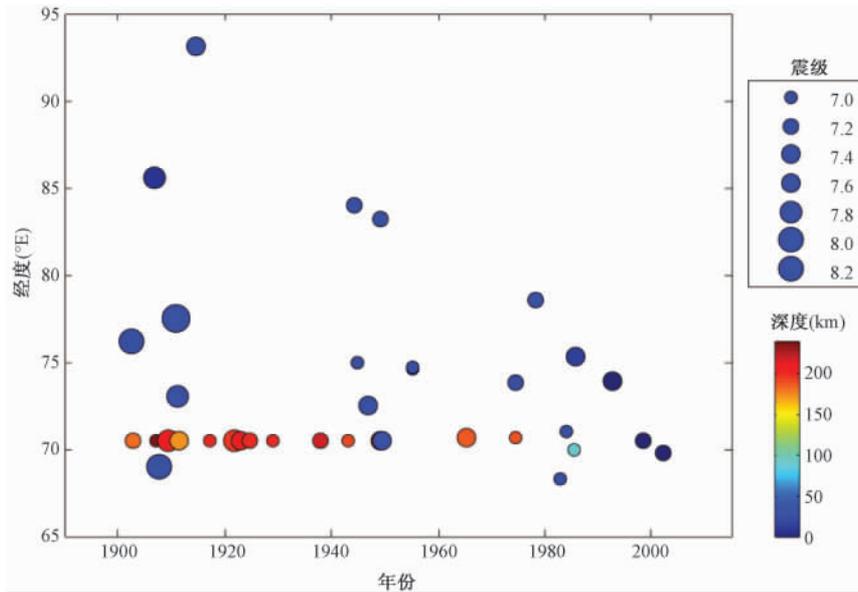


图4 兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动的相关关系

天山地震带地震事件为图3蓝色实心圆标记;兴都库什-帕米尔地区地震事件为图3灰色实心圆标记;
色标表示震源深度;地震目录来源同图1

1992年,3个时段地震活动在强度上呈现随时间衰减的态势。从空间分布看,第1活跃期天山地震带西段、中段和东段都存在7级以上强震活动,第2活跃期强震活动分布在西段和中段,而第3活跃期强震活动主要集中在西段。从3个时段的时空分布特征可以看出,各活跃期天山地震带的活动强度呈现西强东弱的特征;同时,除了第2活跃期中段和西段强震活动基本同步以外,第1、3活跃期天山地震带强震活动均存在自西向东的迁移过程,反应了印度板块北向推挤作用力自西向东、自南向北传递的动力学过程。

对应天山地震带的3个活跃期,兴都库什-帕米尔地区的强震活动呈现出与之相应的同步特征。两地区强震活动强度与频度均表现为随时间衰减的时序特征,表明该地区强震活动与天山地震带的强震活动在强度与频度上存在一定的相关关系。兴都库什-帕米尔地区地震活动越强烈,天山地震带的强震活动也越强烈,而且天山地震带强震活动的空间分布范围也越大,反映了兴都库什-帕米尔构造结地区强震活动水平可能影响了天山地震带强震活动强度和空间分布范围。

之所以将兴都库什-帕米尔地区视为中国大陆与周边板块动力传递的关键部位,是因为该地区存在深度超过200km的中源地震,是少有的大陆内部中源地震的集中区。兴都库什-帕米尔地区作为天山地震带地壳变形与地震活动的动力源,该地区中源地震活动与天山地震带强震活动之间的关系值得研究。同样,以发震时间为横轴,空间位置经度为纵轴,将兴都库什-帕米尔地区与天山地震带的7级以上中源地震绘制成图,结果见图5。

对应天山地震带1900年以来强震活动所经历的3个活跃期,兴都库什-帕米尔地区中源地震活动在强度和频度上同样呈现随时间衰减的特征。对应于天山地震带的第1活跃期,兴都库什-帕米尔地区中源地震活动最为强烈,同时该活跃期天山地震带西段、中段和东

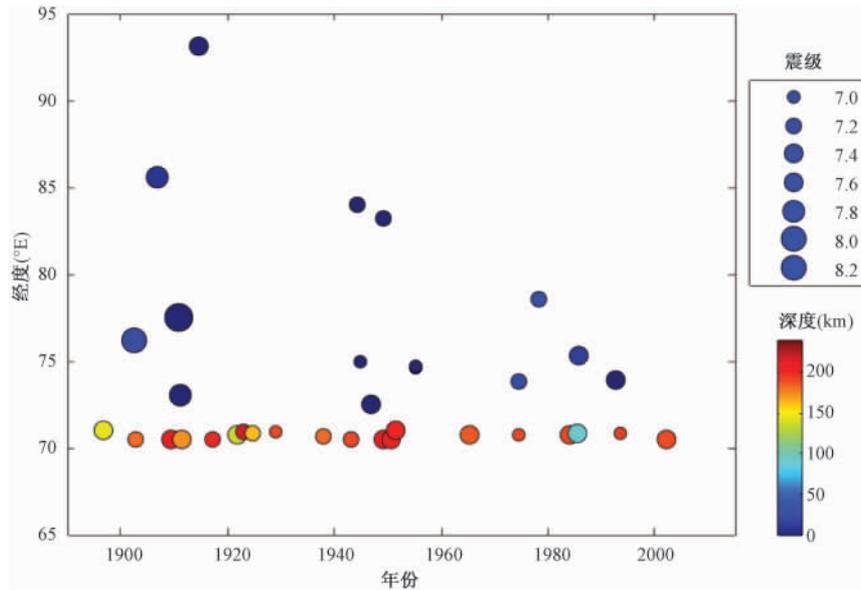


图5 兴都库什-帕米尔地区中源地震与天山地震带强震活动的相关关系

兴都库什-帕米尔地区中源地震选择范围为图2红色圆圈标记区域,地震目录来源于 Engdahl 等(1998),其他同图4

段都发生了7级地震;第2活跃期中源地震活动比第1活跃期弱,该活跃期天山地震带西段和中段发生了7级地震;而第3活跃期中源地震活动最弱,天山地震带只有西段发生了7级地震。

对比兴都库什-帕米尔地区中源地震与天山地震带强震活动的时序特征,两者在时间轴上呈现出一定的同步特征,表明该地区中源强震活动与天山地震带的强震活动在强度与频度上存在一定的相关关系。该地区中源地震活动越强烈,天山地震带的强震活动也越强烈,且强震活动的范围也越大;若是该地区中源地震活动水平较低,则天山地震带强震活动水平也比较低,且活动收缩在天山地震带西段。由此表明天山地震带强震活动的强度和空间范围可能与兴都库什-帕米尔构造结地区中源地震活动水平相关。

3 讨论与结论

本文分析了兴都库什-帕米尔地区7级以上地震和中源地震与天山地震带强震活动之间的相关关系。通过对比发现,两者与天山地震带强震活动之间均存在较好的相关性,而中源地震活动与天山地震带强震活动的相关性更为明显。总之,兴都库什-帕米尔地区的强震活动或中源地震活动可能直接影响天山地震带的强震活动及空间范围。

印度板块与欧亚板块碰撞汇聚于喜马拉雅弧,在兴都库什-帕米尔地区产生了剧烈的地壳变形,结合天山地震带的动力环境与构造背景可推断,该地区的北向推挤正是天山地震带地壳变形的主要原因。根据块体间的动力传递,兴都库什-帕米尔地区的强震活动将有利于天山地震带的强震孕育和能量积累;同时由于介质的非完全弹性动力传递存在空间衰减的特征,该地区的地震活动强度也影响了天山地震带强震活动的空间范围。因此,兴都库什-帕米尔地区的强震活动对天山地震带的强震活动具有一定的指示意义。

由前文分析可见,兴都库什地区的中源地震与天山地震带的强震活动呈现更好的相关关系。解释与板块俯冲有关的中源地震需要借用脆韧转化复合体的概念,有研究者将既有脆性又有塑性过程发生并相互作用的地区称之为脆韧转化复合体。众所周知,该复合体充盈在近地表脆性层和下沉板块的深部脆性带之间的夹心区域,以产生俯冲带内的巨大逆冲地震(安艺敬一,2009)。通常浅源地震发生在上地壳脆性层,震源深度下界终止于脆韧性转换带附近,而中深源地震发生在插入热地幔中的冷板块中(张国民等,2003)。Zoback等(2002)提出了板块驱动力加载岩石圈韧性部分作用的观点,假设岩石圈由3层组成,即脆性的上地壳、韧性的下地壳和上地幔。假定这3层共同支持板块驱动力,则可以得出结论,即某区域构造之所以稳定是因为该区域的韧性层变形速率低,而活动区之所以活动是因为韧性部分的变形速率高(Zoback et al,2001)。因此,只要岩石圈3层之间是互相耦合的,在下地壳和上地幔就将引起稳态蠕变,并由于其蠕变而增加上面的脆性层内的应力积累。这就意味着脆性层的高(低)应力增加速率和由板块驱动力引起的韧性层中的高(低)变形速率是同时发生的。中、深源地震活动的增强,特别是7级以上深震的发生,使得塑性流动变形的下地壳和软流圈受到的扰动加剧,将有利于上部脆性层的应力积累,进而有利于浅源大地震的发生。同时,由于中、深源地震活动的增强使得软流圈的扰动加剧,所以影响范围不仅仅是局部地区,而且深震活动的强度和频度越大,影响范围也将越大(薛艳等,2008)。

上述讨论较好地解释了兴都库什地区中源地震活动与天山地震带强震活动之间的关系。天山地震带处在兴都库什-帕米尔构造结的动力影响区,自身的强震活动呈现出平静-活跃相互交替的时序特征,这表明天山地震带作为一个相对独立的孕震体系,在周边动力环境下其能量累积-释放呈现准周期特征;同时其强震活动又受兴都库什-帕米尔地区的强震活动、尤其是中源地震活动的扰动影响。因此,天山地震带除自身呈现平静-活跃相互交替的时序特征外,还表现为各时段不同的时空分布特征。由此可知,倘若判定天山地震带的强震趋势,首先需要关注天山地震带自身的能量积累,其次才是兴都库什-帕米尔地区强震活动(尤其是中源地震)对其能量积累的影响。

本文首先给出了新疆及周边地区的构造背景、动力环境以及地震活动情况,从地质构造和地震活动类型等方面论述了天山地震带的动力环境主要受控于兴都库什-帕米尔构造结的北向推挤;进一步通过考察兴都库什-帕米尔地区7级以上强震和中源地震与天山地震带强震活动之间的相关关系,得出了兴都库什-帕米尔地区强震活动能够影响到天山地震带强震活动强度和空间分布范围的认识。本文工作得到的兴都库什-帕米尔地区与天山地震带强震活动关联的认识,将有益于天山地震带的强震趋势判定。

致谢: 本文成稿过程中,张国民研究员、尹祥础研究员、江在森研究员和马宏生博士给予了有益的指导与帮助,作者谨表谢意。

参考文献

- 安艺敬一,尹祥础等译,2009,预测地震和火山喷发的地震学,北京:科学出版社。
邓起东、冯先岳、张培震等,2000,天山活动构造,北京:地震出版社。
傅征祥、姜立新,1997,中国大陆及邻区大尺度浅源强震空间分布的不均匀性和板块耦合的力学机制,中国地震,13(1),1~9。

- 郭增建、马宗晋, 1988, 中国特大地震研究, 北京: 地震出版社。
- 国家地震局震害防御司, 1995, 中国历史强震目录, 北京: 地震出版社。
- 楼小挺、刁桂苓、叶国扬等, 2007, 帕米尔-兴都库什地区中源地震的空间分布和震源机制解特征, 地球物理学报, **50** (5), 1448 ~ 1455。
- 宁杰远、臧绍先, 1990, 帕米尔-兴都库什地区地震空间分布特征及应力场特征, 地球物理学报, **33** (6), 657 ~ 669。
- 牛之俊、王敏、孙汉荣等, 2005, 中国大陆现今地壳运动速度场的最新观测结果, 科学通报, **50** (8), 839 ~ 840。
- 宋和平、柔洁, 2007, 论新疆活动构造特征与地震的关系(4), 内陆地震, **21** (1), 1 ~ 13。
- 孙文斌、和跃时、常征等, 2009, 帕米尔-兴都库什地区板块俯冲及其应力状态, 地震地质, **31** (2), 207 ~ 217。
- 薛艳、宋治平、梅世蓉等, 2008, 印尼苏门答腊几次大震前的地震活动异常特征, 地震学报, **30** (3), 321 ~ 325。
- 鄢家全、时振渠、汪素云等, 1979, 中国与邻区现代构造应力场的区域特征, 地震学报, **1** (1), 9 ~ 24。
- 杨少敏、李杰、王琪, 2008, GPS 研究天山现今变形与断层活动, 中国科学(D 辑), **38** (7), 872 ~ 880。
- 张国民、李丽, 2003, 地壳介质的流变性与孕震模型, 地震地质, **25** (1), 1 ~ 10。
- 中国地震局震害防御司, 1999, 中国近代地震目录, 北京: 地震出版社。
- Belousov V V, Belyaevsky N A, Borisov A A, et al, 1980, Structure of the lithosphere along the deep seismic sounding profile: Tianshan-Pamir-Karakorum-Himalayas, Tectonophysics, **70** (3 ~ 4), 193 ~ 221。
- Billington S, Isacks B L, Barazagi M, 1977, Spatial distribution and focal mechanisms of mantle earthquakes in the Hindukush-Pamir region: A contorted Benioff zone, Geology, **5**, 699 ~ 704。
- Burchfiel B C, 2004, New technology, new geological challenges, GSA Today, **14** (2), 4 ~ 10。
- Calais E, Vergnolle M, Deverchere J, et al, 2002, Are post-seismic effects of the $M = 8.4$ Bolnay earthquake (1905 July 23) still influencing GPS velocities in the Mongolia-Baikal area? Geophysical Journal International, **149** (1), 157 ~ 168。
- Engdahl E R, Hilst R V D, Buland R, 1998, Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination, Bull Seis Soc Am, **88** (3), 722 ~ 743。
- Fan G W, Ni J F, Wallace T C, 1994, Active tectonics of the Pamirs and Karakorum, Journal of Geophysical Research, **99** (B4), 7131 ~ 7160。
- Frankel K L, Wegmann K W, Bayasgalan A, et al, 2010, Late Pleistocene slip rate of the HöhSerh-Tsagaan Salaa fault system, Mongolian Altai and intracontinental deformation in central Asia, Geophysical Journal International, **183** (3), 1134 ~ 1150。
- Gutenberg B, Richter C F, 1954, Seismicity of the earth and associated phenomena, Princeton, New Jersey: Princeton University Press。
- He H, Tsukuda E, 2003, Recent progresses of active fault research in China, Journal of Geography, **112** (4), 489 ~ 520。
- Koulakov I, Sobolev S V, 2006, A tomographic image of Indian lithosphere break-off beneath the Pamir-Hindukush region, Geophysical Journal International, **164** (2), 425 ~ 440。
- Molnar P, Ghose S, 2000, Seismic moments of major earthquakes and the rate of shortening across the Tianshan, Geophysical Research Letters, **27** (16), 2377 ~ 2380。
- Molnar P, Tapponnier P, 1975, Cenozoic tectonic of Asia: effects of a continental collision, Science, **189** (4201), 419 ~ 426。
- Nissen E, Emmerson B, Funning G J, et al, 2007, Combining InSAR and seismology to study the 2003 Siberian Altai earthquakes-dextral strike-slip and anticlockwise rotations in the northern India-Eurasia collision zone, Geophysical Journal International, **169** (1), 216 ~ 232。
- Nowroozi A A, 1971, Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions, Bull Seis Soc Am, **61** (2), 317 ~ 341。
- Paul J, Bürgmann R, Gaur V K, et al, 2001, The motion and active deformation of India, Geophysical Research Letters, **28** (4), 647 ~ 650。
- Pavlis G L, Das S, 2000, The Pamir-Hindu Kush seismic zone as a strain marker for flow in the upper mantle, Tectonics, **19** (1), 103 ~ 115。
- Pegler G, Das S, 1998, An enhanced image of the Pamir-Hindu Kush seismic zone from relocated earthquake hypocenters, Geophysical Journal International, **134** (2), 573 ~ 595。

- Richter C F, 1958, Elementary Seismology, San Francisco CA: W H Freeman & Co.
- Roecker S W, Soboleva O V, Nersesov I L, et al, 1980, Seismicity and fault plane solutions of intermediate depth earthquakes in the Pamir-Hindu Kush region, *Journal of Geophysical Research*, **85**, 1358 ~ 1364.
- Selva J, Marzocchi W, 2004, Focal parameters, depth estimation, and plane selection of the worldwide shallow seismicity with $M_s \geq 7.0$ for the period 1900 ~ 1976, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **5**, Q05005, doi: 10.1029/2003GC000669.
- Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al, 2001, Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau, *Science*, **294**(5547), 1671 ~ 1677.
- Verma R K, Sekhar C C, 1985, Seismotectonics and focal mechanisms of earthquakes from Pamir-Hindukush regions, *Tectonophysics*, **112**(1 ~ 4), 297 ~ 324.
- Vinnik L P, Lukk A A, Nersesov I L, 1977, Nature of the intermediate seismic zone in the mantle of the Pamir-Hindu-Kush, *Tectonophysics*, **38**(3 ~ 4), 9 ~ 14.
- Walker R T, Bayasgalan A, Carson R, et al, 2006, Geomorphology and structure of the Jidright-lateral strike-slip fault in the Mongolian Altay mountains, *Journal of Structural Geology*, **28**(9), 1607 ~ 1622.
- Wang Q, Zhang P Z, Freymueller J T, et al, 2001, Present-day crustal deformation in China constrained by global positioning system measurements, *Science*, **294**(5542), 574 ~ 577.
- Zoback M D, Townend J, 2001, Implications of hydrostatic pore pressures and high crustal strength for the deformation of intraplate lithosphere, *Tectonophysics*, **336**(1 ~ 4), 19 ~ 30.
- Zoback M D, Zoback M L, 2002, State of stress in the Earth's lithosphere, in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, *International Geophysics*, **81**, 559 ~ 568.

An analysis on correlativity of large earthquakes in Hindu Kush-Pamir and Tienshan seismic zone

Zhang Langping Shao Zhigang

Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

Abstract In this paper, we introduce the geological structure, focal mechanisms of historical earthquakes and geodynamic setting of Tienshan and its neighboring region, and draw a conclusion of the large earthquakes in the Tienshan seismic zone governed mainly by the pushing from Hindu Kush-Pamir syntax. We then investigate the relationship of large earthquakes in the Hindu Kush-Pamir and Tienshan seismic zone, and find the synchronization features is existing in grouped large earthquakes between the two regions. The relationship of intermediate-focus large earthquakes in Hindu Kush-Pamir and shallow large earthquakes in Tienshan seismic zone is also discussed. The same synchronization characteristics is also found between the two, and the intensity and frequency of intermediate-focus earthquakes is fiercer. Large earthquakes in the Tienshan seismic zone are more intense, and the distribution range is also wider. The above results confirm the geodynamic correlativity between the Hindu Kush-Pamir and the Tienshan seismic zone from the viewpoint of seismicity.

Key words: Tienshan seismic zone Hindu Kush-Pamir Intermediate-focus earthquakes
Correlativity of large earthquakes