

缪鹏、王行舟、洪德全等, 2014 “霍山震情窗”动力学背景及预测意义分析, 中国地震, 30(4), 534~542。

“霍山震情窗”动力学背景及预测意义分析

缪鹏 王行舟 洪德全 李玲利 王俊

安徽省地震局, 合肥市长江西路 558 号 230031

摘要 安徽“霍山震情窗”作为华东地区的应力敏感部位, 能够以微震、小震活动的形式反映区域应力场的变化。本文基于应变能释放方法对“霍山震情窗”的动力学背景进行了研究, 结果表明该震情窗易受青藏块体强震活动的影响, 从而出现开窗异常, 其异常变幅相对较大; 此外, 震情窗所处区域应力场的波动变化也会导致开窗异常, 其异常变幅则相对较小。上述 2 种动力学背景的开窗异常对华东地区中强地震均具有较好的预测意义。此外, 在实际应用中应关注多种动力学背景的共同影响可能导致的开窗异常。

关键词: 霍山震情窗 动力学背景 青藏块体强震活动 区域应力场

[文章编号] 1001-4683(2014)04-0534-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

安徽“霍山震情窗”(以下简称“霍山窗”)自提出以来, 一直受到地震工作者的广泛关注。以往对“霍山窗”的研究大多是考虑频次变化与华东地区中强震的对应关系(张光华, 1990; 张光华等, 1992; 张春芝, 1993; 郑兆苾等, 1999), 近年来加强了地质构造背景、区内断层活动习性和环境应力的研究(姚大全等, 2003、2006; 陈宇卫等, 2007), 并在中大型水库库容、库水位升降等外部因素对“霍山窗”的影响方面开展了深入的研究(韩育平等, 2008)。

尽管上述研究取得了对“霍山窗”的基本认识, 但由于这些认识缺少系统性, 致使在利用震情窗研判震情中仍存在诸多不确定因素, 其中急需解答的问题是: 震情窗为什么会出现在开窗, 其动力学来源是什么? 如果动力学背景不够明确, 结论的可靠性则大大降低。因此, 如何正确认识“霍山窗”开窗的动力学背景, 在地震预测研究中具有重要的现实意义。

1 地震地质背景

“霍山窗”(31°~31.9°N, 115.7°~116.5°E)位于大别山隆起块体与华北拗陷块体接触带附近的北大别山沉降带南缘。该震情窗不仅位处华北地震区南端, 与华南地震区交界, 也是秦岭-大别造山带与郯庐断裂带的交汇部位, 构造较为特殊。

“霍山窗”所在的大别山东麓地区在漫长的地质演化过程中发育了一系列 NWW 向

[收稿日期] 2014-01-03; [修定日期] 2014-05-11

[项目类别] 安徽省地震科研基金青年项目(20130702)资助

[作者简介] 缪鹏, 男, 1982年生, 硕士, 工程师, 主要从事地球物理学和地震活动性研究。

E-mail: miaopeng_1982@126.com

的断裂,主要有磨子潭-晓天断裂、肥西-韩摆渡断裂、梅山-龙河口断裂等(图 1)。其中磨子潭-晓天断裂和肥西-韩摆渡断裂形成年代较早,在重力、地磁异常图上均有显示,并控制中、新生代盆地及现代地貌水系发育。在大地构造单元的划分上,上述两条断裂构成北淮阳地体南、北边界断裂。此外,NE 向的落儿岭-土地岭断裂横穿桐柏-大别块体和北淮阳地体,并切穿沿线的地质体和上述 NWW 向的断裂,构成了该地区的地震地质主体框架(张杰等, 2003)。

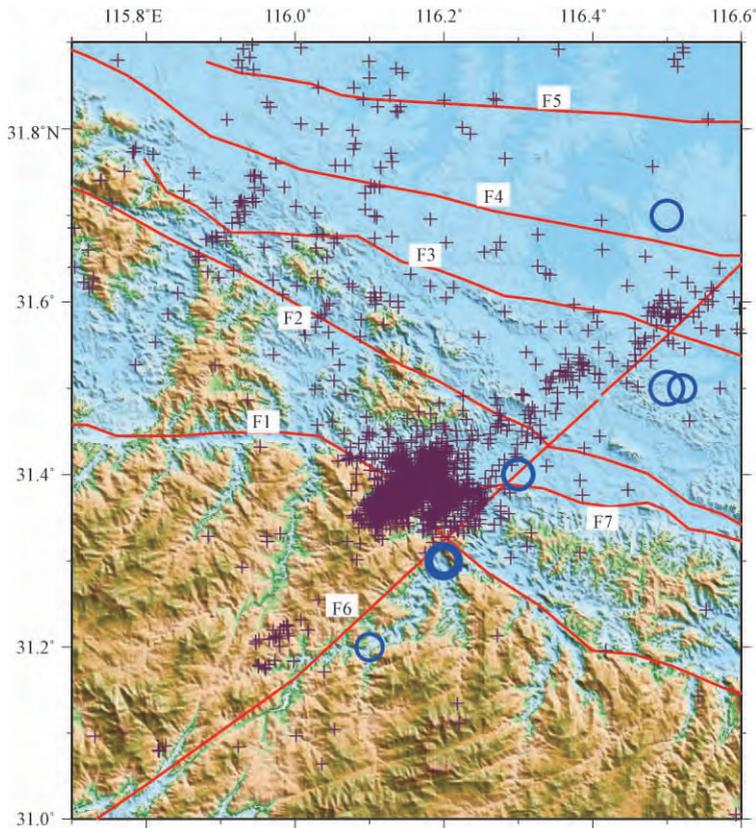


图 1 “霍山窗”地质构造及地震分布

F1:青山-晓天断裂;F2:梅山-龙河口断裂;F3:独山-东汤池断裂;F4:肥西-韩摆渡断裂;F5:合肥-六安断裂;F6:土地岭-落儿岭断裂;F7:霍山(龙门-鸟观嘴)断裂

该地区的地震活动主要发生在落儿岭-土地岭断裂中段与 NWW 向断裂的交汇区,9 次历史地震(1336 年 $M5 \frac{1}{4}$;1425 年 $M5 \frac{3}{4}$;1652 年 $M5 \frac{1}{2}$ 、 $M6.0$;1770 年 $M5 \frac{3}{4}$;1917 年 $M6 \frac{1}{4}$ 、 $M5 \frac{3}{4}$;1934 年 $M5.0$;1954 年 $M5 \frac{1}{4}$),基本沿该段展布。1970 年以后的现代地震记录显示,该区微震、小震活动频繁,并集中分布在磨子潭-晓天断裂和落儿岭-土地岭断裂交汇处附近(张杰等,2006)。

由中国活动地块划分及活动地块边界带分布(张国民等,2005)可见,华南地块与华北地块分界构造——秦岭-大别造山带西起青藏高原东北部,与龙门山断裂带相接,东连郟庐

断裂带南端。因此分析认为“霍山窗”与南北地震带以及青藏块体在构造上可能存在着一一定的关联。

2 应变能释放方法和地震目录完整性

在传统的震情窗研究中,研究者往往利用中小地震的活动频次来判定震情窗的开窗、闭窗,并以此为基础统计震情窗和目标区对应地震的关联。该方法简单易行,取得了一定的效果,但也存在不足之处。地震活动是非常复杂的地球物理过程中的特定事件,其孕育、发展均是相互关联,而非孤立的发展过程,而单纯以地震频次来分析震情窗,难以很好地反映地震活动,尤其是地震能量释放特征。

一定时间、空间范围内地震活动的应变能释放为人们了解该时空域内地壳应力变化、研究构造活动特征以及进行地震危险性预测提供了重要信息,因此关于地震活动应变能释放特征的研究一直受到地震研究者的重视(陈时军等,2003)。而且应变能与地震能量释放密切相关,它较频度指标更全面地反映地震孕育过程,因此利用应变能释放方法研究震情窗的活跃状态具有较大的优势。

利用 Gutenberg 等(1956)的简化经验公式,根据震级计算地震释放能量(能量单位:J)

$$\lg E = 4.8 + 1.5M_s \quad (1)$$

可计算地震释放应变能(应变能单位: \sqrt{J})

$$\varepsilon = \sqrt{E} \quad (2)$$

“霍山窗”所在的六安地区地震监测能力一直较强,20世纪70年代即建设有省属霍山地震台、佛子岭地震台、金寨地震台、下五显地震台以及六安市地震台,随着现代观测技术的不断进步和台站布局的优化与完善,目前六安地区已成为安徽省乃至全国地震监测网点最密集地区之一(赵楠等,2009)。本文使用的2部分地震目录均由中国地震台网中心提供,第1部分为1970年1月~1991年9月 $M_L \geq 1.0$ 地震目录,第2部分为1991年10月~2013年12月 $M_L \geq 0.0$ 地震目录。图2为“霍山窗”地震震级-频度分布,由图2可见,1970年1月~1991年9月 $M_L \geq 1.0$ 地震记录较为完整(图2(a));1991年10月~2013年12月 $M_L \geq 0.6$ 地震记录相对完整(图2(b))。综合考虑该地区不同时段的地震监测能力,本文选取的震级下限为 $M_L 1.0$ 。

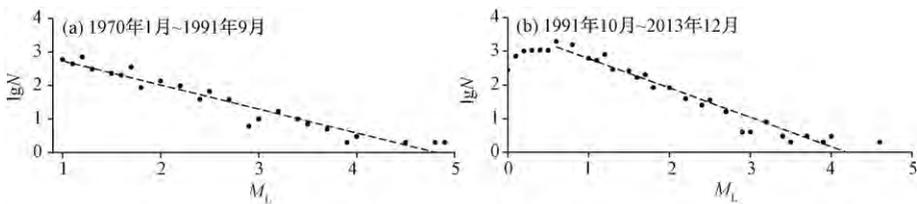


图2 “霍山窗”地震震级-频度分布

在研究过程中,经反复调试,确定“霍山窗”应变能释放方法扫描条件为:窗长3个月,步长1个月,阈值为 $50000\sqrt{J}$,计算“霍山窗”3个月累计1个月滑动应变释放值(以下简称3月累计应变)。“霍山窗”对应地震仍沿用以往的规则(郑兆苾等,1999),即以佛子岭台为

中心,统计 100km 之内 $M_s3.5$ 以上、250km 之内 $M_s4.0$ 以上、500km 之内 $M_s5.0$ 以上以及 500km 以外 $M_s6.0$ 以上的华东地震作为对应地震。

3 “霍山窗”动力学背景

在“霍山窗”动力学背景研究中发现,华东地区中强地震、青藏块体强震均会对“霍山窗”3 个月累计应变产生显著影响,从而导致开窗异常。此外,在未受到显著地震影响的前提下,“霍山窗”也可能因所在区域应力场波动变化出现开窗异常。在上述影响因素中,青藏块体强震影响、区域应力场波动导致的开窗异常对华东地区未来震情发展具有较好的指示意义,因此本文对这 2 项影响因素展开重点分析。

3.1 青藏块体强震活动对“霍山窗”的影响

研究发现“霍山窗”易受青藏块体强震活动的影响而出现开窗异常。1997 年西藏玛尼 7.5 级地震、2001 年昆仑山口西 8.1 级地震、2008 年四川汶川 8.0 级地震震后 1 年内“霍山窗”均出现了显著的开窗异常(图 3)。

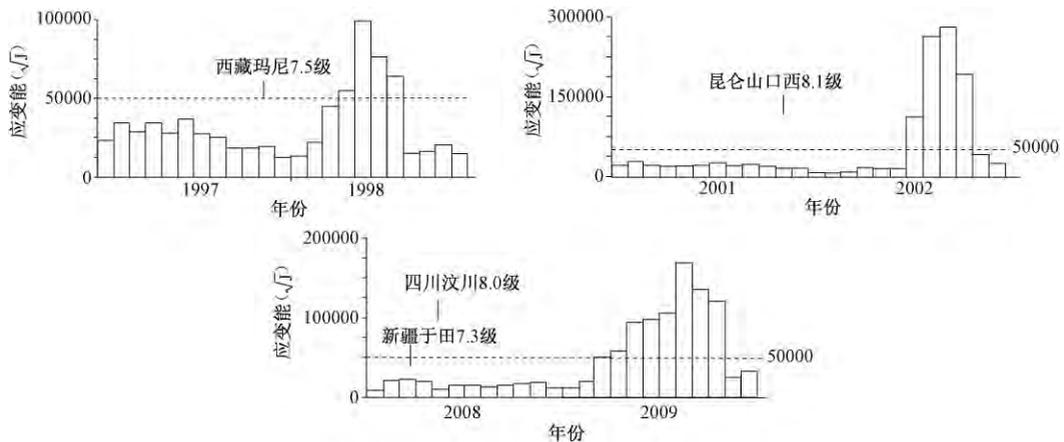


图 3 青藏块体 3 组强震活动对“霍山窗”的影响

上述 3 组强震活动对“霍山窗”的影响在异常形态上有一定的相似性:均表现为震后 1 年内出现高值异常;异常形态均属大幅升降型;其升幅与青藏块体强震的震级、与“霍山窗”距离以及强震丛集性等有很好的相关性。如 1997 年玛尼 7.5 级地震,震中位于青藏块体的西部,距“霍山窗”3000km 以上,对应异常的最高应变能值仅为 $99240\sqrt{J}$;而 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震,震中距“霍山窗”约 2400km,对应异常的最高应变能值高达 $280538\sqrt{J}$;2008 年汶川 8.0 级地震在这 3 组地震中距“霍山窗”最近,仅 1200km 左右,对应异常的最高应变能值为 $168321\sqrt{J}$,虽不及昆仑山口西 8.1 级地震后的异常变幅大,但持续时间更长,达 7 个月。

基于上述认识,本文统计了青藏块体强震活动对“霍山窗”的影响。结果显示,自 1970 年以来,青藏块体共发生 7 级以上地震 20 次,其中 14 次地震震后 1 年内,“霍山窗”3 个月累计应变出现开窗异常(图 4、5),异常持续时间通常在 1 年以内,异常幅度与震级大小、距离以及地震活动丛集性有关(表 1)。值得关注的是,青藏块体内部的巴颜喀拉地块自 1970

年以来共发生 11 次 7 级以上强震,其中 9 次地震震后 1 年内“霍山窗”3 个月累计应变出现开窗现象,对应概率明显高于青藏块体的平均水平。统计结果表明,青藏块体强震活动对“霍山窗”的影响较为显著。

表 1 青藏块体 $M \geq 7.0$ 地震后 1 年内“霍山窗”3 个月累计应变异常统计

青藏块体强震		异常起止时间 (年-月)	最大应变 能(\sqrt{J})	“霍山窗”3 个月累计应变异常
发震日期 (年-月-日)	地点,震级			
1970-01-05	云南通海,7.8 级	1970-05 ~ 1970-07	116078	突升突降
1973-02-06	四川炉霍,7.6 级	1973-03 ~ 1973-10	2594676	四川炉霍地震后迅速突升,西藏亦基台错地震后再次出现小幅回升
1973-07-14	西藏亦基台错,7.3 级			
1974-05-11	云南大关,7.1 级	1975-03 ~ 1976-06	121830	云南大关地震后出现波动上升,在异常存续期间发生云南龙陵地震
1976-05-29	云南龙陵,7.3 级			
1976-05-29	云南龙陵,7.4 级			
1976-08-16	四川松潘,7.2 级	1977-01 ~ 1977-02 1977-06	60110	1976 年四川松潘,7.2 级、6.7 级、7.2 级地震后,1977 年 1~2 月、6 月出现了两次小幅开窗异常
1976-08-23	四川松潘,7.2 级			
1988-11-06	云南澜沧,7.6 级	-		
1988-11-06	云南耿马,7.2 级	-		
1990-04-26	青海共和,7.0 级	-		
1995-07-12	中缅交界,7.3 级	1995-04 ~ 1995-12	173907	中缅交界 7.3 级地震后,1995 年 9~12 月,在前期开窗异常的基础上再次出现明显峰值
1996-02-03	云南丽江,7.0 级	-		
1996-11-19	新疆和田,7.1 级	-		
1997-11-08	西藏玛尼,7.5 级	1998-04 ~ 1998-07	99240	西藏尼玛地震后,1998 年 4~7 月出现高值
2001-11-14	昆仑山口西,8.1 级	2002-07 ~ 2002-10	280538	昆仑山口西 8.1 级地震后,3 个月累计应变出现显著高值
2008-03-21	新疆于田,7.3 级	2009-04 ~ 2009-10	168321	新疆于田 7.3 级、四川汶川 8.0 级地震后,“霍山窗”3 个月累计应变出现高值,持续时间 7 个月
2008-05-12	四川汶川,8.0 级			
2010-04-14	青海玉树,7.1 级	-		
2013-04-20	四川芦山,7.0 级	2013-10 ~	98537	四川芦山 7.0 级地震发生 5 个月后“霍山窗”3 个月累计应变出现突升,截至 2013 年 12 月尚未结束

3.2 区域应力场波动变化对“霍山窗”的影响

在未受到华东地区中强地震或青藏块体强震影响时,由于自身所处区域应力场存在波动变化,也可能导致“霍山窗”出现开窗异常。这些开窗异常后,华东地区也存在发生中等以上地震的可能。

1978 年 7~12 月,“霍山窗”出现开窗现象,持续时间 6 个月,最高应变能值为 $73638\sqrt{J}$,异常前两年内青藏块体未发生 7 级以上强震,华东地区未发生 5 级以上地震,“霍山窗”

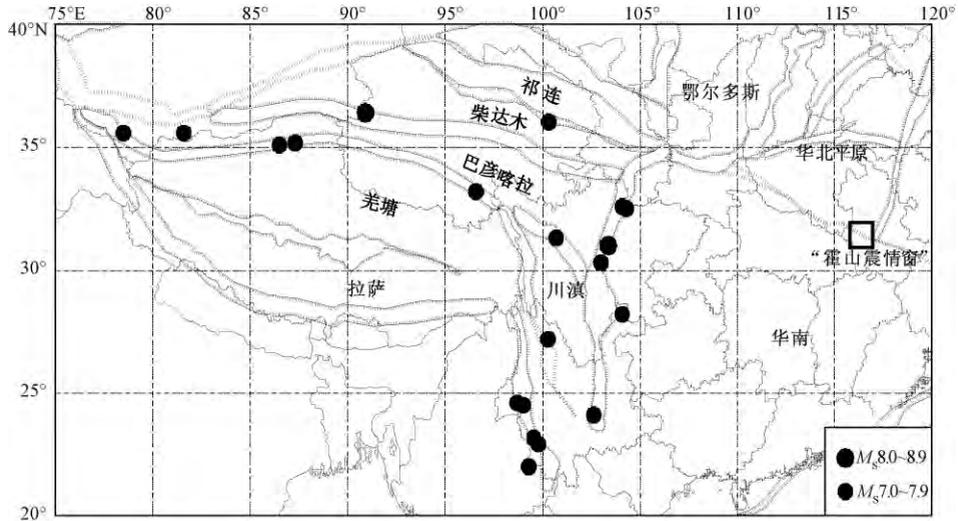


图4 1970年以来青藏块体 $M_s \geq 7.0$ 地震及“霍山窗”空间分布

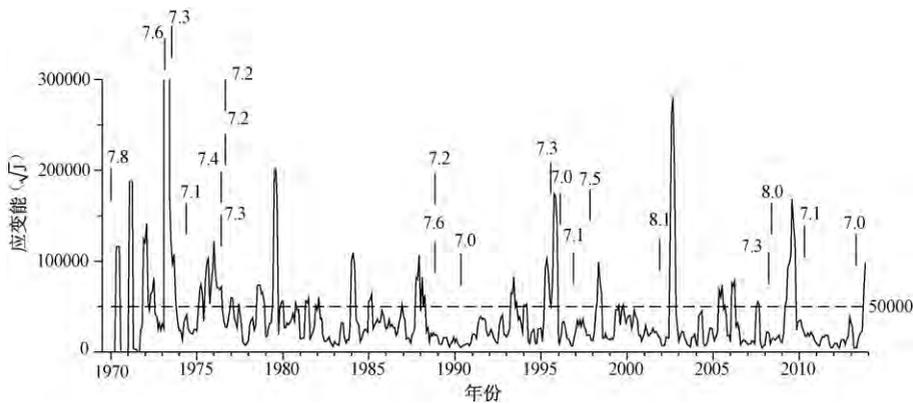


图5 青藏块体 $M_s 7.0$ 以上强震对“霍山窗”3月累计应变的影响

受外界地震影响出现开窗的可能性较小。异常结束后2个多月,发生安徽固镇 $M_s 5.0$ 地震;1979年6月,“霍山窗”再次开窗,其后7月9日发生江苏溧阳 $M_s 6.0$ 地震,1979年10月异常恢复,此次异常最高应变能达 $201234 \sqrt{J}$ (图6)。

2005年5~7月,“霍山窗”开窗,最高应变能达 $74145 \sqrt{J}$ 。此前两年内,青藏块体未见7级以上强震,华东地区无5级以上地震,因此基本排除外界地震的影响导致开窗的可能。2005年9月,3个月累计应变再次超出阈值,2个月后发生九江 $M_s 5.7$ 地震。其后2006年2~4月,“霍山窗”再次出现类似的开窗异常,最高应变能达 $78254 \sqrt{J}$,3个月后发生安徽定远 $M_s 4.2$ 地震(图7)。

4 认识和讨论

(1) 根据表1的结果,青藏块体内部巴颜喀拉地块强震活动对“霍山窗”的影响更显著,

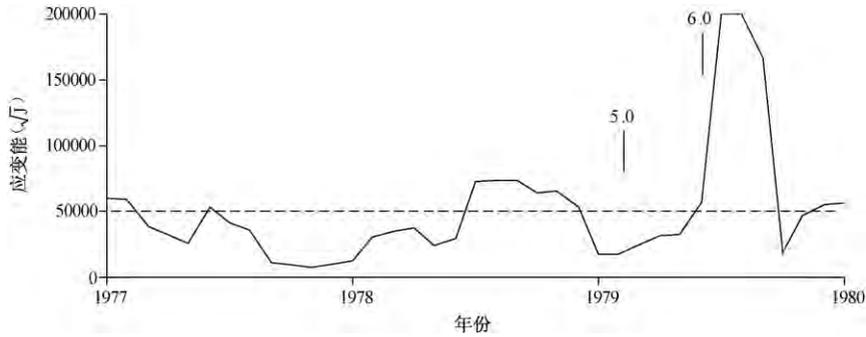


图6 1977~1979年“霍山窗”3个月累计应变

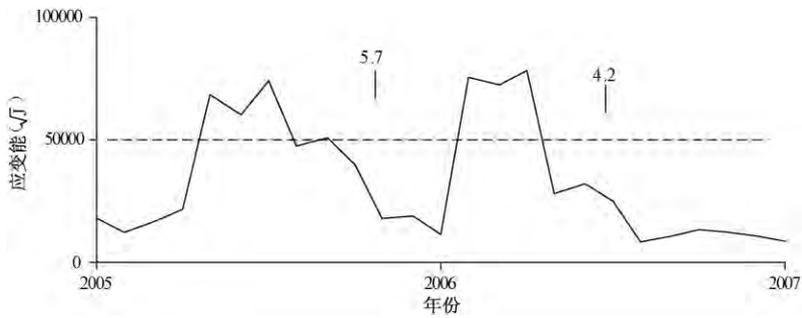


图7 2005~2006年“霍山窗”3个月累计应变(各断裂各见图5)

这种现象可能与青藏块体动力学背景密切相关。GPS资料显示,由于受到华南地块的阻挡,巴颜喀拉块体朝东、南东方向的“逃逸”运动表现为该块体北边界的左旋走滑断层作用,使该块体的东边界发生以侧向缩短和挤压逆冲作用为主、兼有走滑或者剪切作用的变形,亦即该块体的运动对其东边界断裂系统具有显著的“加载”作用(闻学泽等,2011)。而巴颜喀拉块体东边界通过秦岭-大别造山带与华北南部地区存在一定的构造关联性。2008年汶川8级特大地震前后GPS资料也显示,华北南部地区水平运动速度场存在较大变化,由汶川地震前的SW方向为主变为地震后的SE方向,表明巴颜喀拉块体内强震活动对华北南部地区的应变影响较大(洪德全等,2013)。

“霍山窗”作为华北南部地区“应力敏感部位”,易受到青藏块体强震活动、自身所处区域应力场应力波动的影响,从而出现开窗异常。两者存在较为显著的区别,即受青藏块体强震活动影响,其开窗异常幅度普遍偏大(3个月累计应变 $\geq 10^5 \sqrt{J}$);而受到所处区域应力场应力波动的影响,其开窗异常幅度相对较小(3个月累计应变 $\leq 10^5 \sqrt{J}$)。

(2)笔者利用地震统计对比、概率增益模型等方法分析青藏块体 $M \geq 7.0$ 强震对华东地区 $M \geq 5.0$ 地震的影响后认为,青藏块体驱动力可借助岩石圈下层塑性流动和曳引上层的方式传递到我国大陆东部地区,从而对华东地区应力场以及震情产生长期影响(缪鹏等,2010)。在上述过程中,由于“霍山窗”具有显著的窗口作用,在应力场变化初期即可有所反映,其开窗时间往往先于华东地区中强地震的发生。因此,青藏块体强震活动后“霍山窗”出现的开窗异常对华东地区中强地震也具有很好的指示意义。

(3) “霍山窗”在特定时段内存在持续时间长达 4~5 年的闭窗期,闭窗期内其 3 个月累计应变长期处于低值活动水平,对青藏块体强震和华东地区中强地震活动不会出现明显响应。例如 1988 年 5 月~1993 年 3 月,青藏块体发生 1988 年 11 月 6 日云南澜沧 7.6 级、耿马 7.2 级、1990 年 4 月 26 日青海共和 7.0 级两组强震,华东地区发生 1990 年 2 月 10 日常熟-太仓 5.1 级地震,而“霍山窗”3 个月累计应变一直处于低值水平波动;2009 年 11 月~2013 年 9 月,青藏块体发生 2010 年青海玉树 7.1 级强震,且“霍山窗”周边相继发生了 2011 年 1 月 19 日安庆 4.8 级、9 月 10 日瑞昌-阳新 4.6 级、2012 年 7 月 20 日高邮 4.9 级地震,而“霍山窗”一直处于低值水平变化。

闭窗期的形成,可能与“霍山窗”在特定时段内本身极低的应力活动水平密切相关。在上述 2 次闭窗期内,“霍山窗”均未发生 $M_L \geq 3.0$ 地震(1970 年以来 $M_L \geq 3.0$ 地震平均年频次为 1.5 次),且 2 次闭窗期内 $M_L \geq 1.0$ 地震年频次(105.3 次、88.6 次)也远远低于 1970 年以来的平均水平(148.6 次)。在自身极低的应力活动水平下,“霍山窗”对外界影响处于“无反应”状态。因此在震情窗具体应用过程中,应注意识别闭窗期,并尽量排除其对震情研判的干扰作用。

(4) 在研究过程中发现,很多时候“霍山窗”开窗异常并非受某种因素的单独影响,而是在同一时段内往往存在多种因素共同的影响,多种动力学背景之间关系错综复杂。由于其相互影响机制方面仍不清晰,因此具体应用中需进一步分析,不可一概而论。

参考文献

- 陈时军、Harte D、王丽凤等,2003,广义地震应变释放的多重分形特征,地震学报,25(2),182~190。
- 陈宇卫、张军、庆梅等,2007,“霍山地震窗”小震序列运动学参数时变特征研究,地震,27(1),26~32。
- 韩育平、缪鹏、朱亮等,2008,安徽省大别山地区“4 大水库”引起的水库地震对“霍山震情窗”的影响,地震地磁观测与研究,29(1),5~14。
- 洪德全、王行舟、程鑫等,2013,安徽霍山窗重复地震尾波 Q_c 值变化研究,地球物理学报,56(10),3416~3424。
- 缪鹏、王行舟、吴小平,2010,汶川地震对华东地区中强震的影响分析,地震地磁观测与研究,31(2),6~11。
- 闻学泽、杜方、张培震等,2011,巴颜喀拉块体北和东边界大地震序列的关联性与 2008 年汶川地震,地球物理学报,54(3),706~716。
- 姚大全、刘加灿、李杰等,2003,六安-霍山地震危险区地震活动和地震构造,地震地质,25(2),211~219。
- 姚大全、张杰、沈小七,2006,安徽霍山地区断层活动习性研究的新进展,地球物理学进展,21(3),776~782。
- 张春芝,1993,霍山-六安地区地震活动特征及地震平均复发间隔的再研究,地震学刊,(4),30~33。
- 张光华,1990,安徽霍山震群与华东地区强震关系的初步研究,西北地震学报,12(4),93~94。
- 张光华、权义行,1992,安徽霍山地区地震活动特征研究,地震学刊,(2),59~62。
- 张国民、马宏生、王辉等,2005,中国大陆活动地块边界带与强震活动,地球物理学报,48(3),602~610。
- 张杰、王行舟、沈小七,2003,引入地震构造法的场地影响烈度地震危险性分析——以皖西六大水库坝址为例,中国地震,19(1),33~40。
- 张杰、姚大全、刘东旺等,2006,安徽及邻区中长期地震危险区的预测研究,地震地磁观测与研究,27(3),29~39。
- 郑兆蕊、庆梅、李敏莉,1999,霍山窗与华东中强地震关系研究,地震学刊,(2),1~9。
- 赵楠、江沛春、张光华等,2009,六安地震与监测台网,地震地磁观测与研究,30(6),104~108。
- Gutenberg B, Richter C F, 1956, Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper), Bull Seism Soc Am, 46, 105~145.

Dynamic backgrounds of the “Huoshan Seismic Window” and its implications

Miao Peng Wang Xingzhou Hong Dequan Li Lingli Wang Jun

Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China

Abstract As a stress sensitive part of east China in Anhui, the “Huoshan Seismic Window” can reflect the regional stress field changes in the form of micro and small earthquakes. Based on the method of strain release, we discussed the dynamic backgrounds of the “Huoshan Seismic Window” and its implications in this paper. The result showed that the “Huoshan Seismic Window” appeared abnormal due to the impact of strong earthquakes of Qinghai-Tibetan block, and its anomalous amplitude varies larger than the impact of self-fluctuations of regional stress field. Based on the both dynamic backgrounds, the “Huoshan Seismic Windows” has better predictive significance which may reflect moderately strong earthquakes in the east China. Moreover, in practical application, we should concern about the combined effect of multiple dynamic backgrounds of Huoshan area.

Key words: Huoshan Seismic Window Dynamic backgrounds Strong earthquakes of Qinghai-Tibetan block Regional stress field