

山东跨断层短水准异常的可能物理机理

肖兰喜, 李 杰, 董 翔, 冀东普, 冯志军

(山东省地震局, 济南 250014)

摘要:针对2006—2008年郯庐断裂带中南段的高峰头、武胜、甘霖等跨断层短水准测量出现的显著异常变化,基于华北南部地区地震活动增强的力学背景分析和华北南部地区与青藏高原东北缘地质构造的关联性特征,分析表明,该远场异常变化可能与汶川8.0级地震的孕育和发生有关。

关键词:远场;短水准异常;汶川地震

中图分类号:P315.72

文献标志码:A

0 引言

从新第三纪初期开始,郯庐断裂带在遭受近东西向挤压下而发生逆冲。沂沭断裂带内的红盆及安徽段的嘉山盆地、合肥盆地、潜山盆地边缘,随处可见构造正反转现象。这种伸展盆地在郯庐断裂带期普遍抬升、消亡,在延续至今的郯庐断裂带挤压期间,伴生了较多的玄武岩喷发。郯庐断裂带新生代的挤压活动与整个中国东部所处的应力状态是一致的,这一时期,太平洋板块和菲律宾板块向西俯冲,西太平洋边缘出现了弧后扩张。同时,印度板块与欧亚板块陆-陆碰撞中的向东构造挤出作用,结果是中国东部整体上遭受近东西向的挤压^[1]。

秦岭大地构造格局显示在华北与扬子板块之间,夹持有呈菱形楔状体地块。东部呈“鳄鱼嘴状”的古秦岭一大别微板块插入在扬子板块的中、上地壳之间,西部松潘-甘孜微板块呈“薄皮构造”覆盖在扬子陆块上地壳之上。秦岭地区的巨型线性构造带,分别代表了华北、扬子板块及松潘-甘孜、古秦岭一大别地块基底拼合区在地表的投影。北秦岭带的唐藏-商丹断裂,西秦岭带的宁陕断裂,南秦岭带的麻柳坝-钟宝断裂是秦岭地区各板块、微板块间分区界线的具体投影位置。西秦岭巨型线性构造带还代表了发生在加里东构造旋回、松潘-甘孜微板块自西北向南东方向对扬子板块和先期加入扬子构造域的古秦岭一大别微板块的碰撞对接活动。松

潘-甘孜微板块的出现,使扬子板块北缘开始了被动大陆边缘和特提斯双重构造体系作用的历史。印支构造旋回,泛扬子板块自东向西先后与华北板块接触。板块间的俯冲碰撞演变成陆内造山,使石炭系、二叠系特提斯沉积相继结束,开始隆升褶皱^[2]。

1654、1879、1920年分别在青藏高原的东北缘发生过甘肃天水南8.0级、甘肃武都南8.0级、宁夏海原8½级地震,这些地震发生在青藏高原的东北缘,这里是年轻的青藏高原隆起与古老的华北地台的交接地带,是青藏高原构造应力场与华北构造应力场的过渡地区。同样,汶川8.0级地震也发生在青藏高原的东北缘,这里是年轻的青藏高原隆起与古老的扬子地台的交接地带,也是青藏高原构造应力场与华北构造应力场的过渡地区。不同的是汶川地震发生在北东向的龙门山构造带(具有右旋剪切的强烈挤压带)上,而海原地震发生在六盘山构造带(一个左旋剪切挤压带)上^[3-9]。

正是青藏高原东北缘的特殊构造特点和秦岭大地构造格局的关联,我们来研究几次大地震前华北南部地区地震活动的反映,分析华北南部地区(本文所指的华北南部地区主要是29°~35°N附近以近东西向断裂控制的秦岭一大别地区及郯庐断裂带的中南段)地震活动增强的可能力学背景,基于这种可能存在的地球动力学背景,考虑特大地震的孕育空间范围和构造块体的相互作用,分析山东地区南部跨断层短水准异常的可能机理。

收稿日期:2012-02-08

基金项目:地震行业科研专项(201208018)

作者简介:肖兰喜(1962—),男(汉族),河北冀州人,山东省地震台网中心主任,研究员,主要从事地震监测、地震应急工作。

E-mail: xlx@eqsd.gov.cn

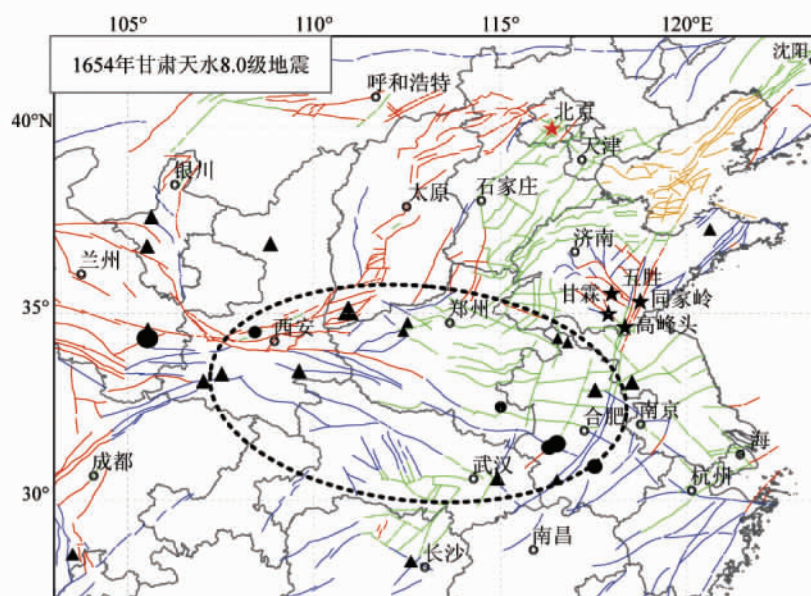
1 汶川 8.0 级地震前华北南部地区地震活动特点^[12]

在大华北地区地震活动相对平静的基础上,华北南部地区地震活动明显增强,2005 年 11 月 26 日在江西九江发生了 5.7 级地震,该地震发生前从 2002 年 7 月开始,沿郯庐地震带形成了 4.0 级地震条带,而这一明显的加速过程,恰好起始于 2001 年 12 月以后,与昆仑山西口 8.1 级地震的发生似乎存在某种时间上的关联。华北南部地区 2006 年 10 月以来小震群及响应性地震活跃,先后发生 2006 年湖北随州 M_L 4.7、江苏东台 M_L 4.1、2007 年安徽巢湖 M_L 2.8 级震群、5 月河南南召 M_L 3.2 级及 7 月安徽霍山 M_L 2.9 级震群,响应性地震主要有 2006 年 1 月 8 日南黄海 M_L 4.8、2007 年 5 月 6 日江苏响水 M_L 4.0 和 6 月 3 日湖北荆州 M_L 4.2 级地震。2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级地震后,7 月 26 日在安徽定远发生 M_L 4.7 级响应地震,进入 2008 年后,在少震区的河南封丘连续发生 2008 年 1 月 M_L 4.3 和 M_L 3.5 级地震和 2008 年 3 月 M_L 4.7 和 M_L 3.9 级地震,2008 年 3 月在湖北的竹山发生 M_L 4.6 级地震^[13]。

2 青藏高原东北缘 8 级地震前华北南部地区的地震活动

除汶川 8.0 级地震外,还有 3 次 8 级大地震发

生在青藏高原的东北缘,由于这些地震发生时,基本上没有仪器记录资料,无法了解中小地震的活动特征,但是我们可以借助历史地震资料了解青藏高原东北缘 8 级地震前华北南部地区的活动特点,8 级地震前,在青藏高原的东北缘的地震活动不是很明显,但是在华北南部地区,地震活动异常活跃,1654 年甘肃天水 8.0 级地震前的 10 年、20 年内,华北地区的中强地震几乎全部发生在华北地区的南部,主要分布在 $30^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 附近的近东西向与秦岭大地构造格局相关联的断裂带上,先后发生了 17 次中强地震(表 1、图 1),与此同时华北其他地区只发生了个别地震(1642 年山东莱阳北 $4\frac{3}{4}$ 级地震);1879 年甘肃武都 8.0 级地震前的 20 年也表现出了基本一样的分布特征,主要集中在华北南部地区,先后发生了 11 次中强地震(表 1),只是中等地震活动水平偏弱,与此同时,华北地区其他地区只是在辽宁南部发生 3 次中等地震活动;同样,1920 年海原 8.5 级地震前,震中区附近地震活动比较平静,震前 20 年内华北南部地区地震活动水平远远大于华北北部地区,震前 10 年内先后发生了 1911 年江西九江 5.0 级、1913 年河南信阳 5.0 级、1913 年湖北麻城 5.0 级、1917 年安徽霍山 $6\frac{1}{4}$ 级和 $5\frac{1}{2}$ 级、1918 年的河南通许 $5\frac{1}{2}$ 级、1913 年江苏镇江 $5\frac{1}{2}$ 级地震以及黄海的 4 次中强地震。



(●—震前 10 年;▲—震前 10~20 年;★—形变观测点)

图 1 1654 年天水 8.0 级地震前华北南部中强地震活动图像

根据青藏高原的东北缘的特殊构造特点和秦岭大地构造格局的关联,华北南部地区地震活动可以作为青藏高原东北缘特强震孕育的震情异地显示窗口,根据青藏高原东北缘这几次 8 级地震前华北南部地区的地震活动图像可以看出,在 8 级地震前 10 年左右的时间内,震中区附近基本没有 5 级左右的地震,根据震中区的地震活动很难判定是否存在发生特大地震的可能,但是,在华北南部地区多次发

生中强地震活动,整个华北地区的地震活动主要集中在华北南部地区,主要分布在 29°~35°N 附近的近东西向与秦岭大地构造格局相关联的断裂带上,特别是在秦岭大地构造与郯庐断裂带交会部位表现的更为突出,天水 8.0 级地震前 1652 年安徽霍山发生 5½ 级和安徽霍山东北 6.0 级地震,海原地震前 1917 年安徽霍山发生 6½ 级和 5.5 级地震。

地震 时间段	1654 年甘肃天水 8.0 级地震	1879 年甘肃武都 8.0 级地震	1920 年宁夏海原 8.5 级地震
地震前 10~20 年	1635 安徽潜山 4¾	1862 山西绛县西南 5.0	1903 河北深县 4¾
	1636 陕西汉中 5½	1862 山西曲沃、绛县间 5.5	1905 黄 5.3
	1638 河南新安 4¾	1863 江西修水、湖北通城间 5.0	1905 黄海 5.6
	1640 河南洛阳 4¾	1867 浙江海宁盐官 4¾	1906 湖南常德 5.0
	1640 湖北黄冈 5.0	1868 甘肃天水 4¾	1908 陕西略阳北 5.5
	1641 甘肃天水、礼县间 5.0	1868 陕西白河、洵阳间 5.5	1909 山西和顺 5.0
	1642 山西安邑西 6.0	1868 安徽定远南 5.5	1909 河北获鹿 5.5
	1642 山东莱阳北 4¾		1909 黄海 5.0
	1642 安徽萧县 4¾		1910 黄海 6.75
	1642 江苏盱眙 5.0		1910 黄海 4.9
地震前 10 年	1643 安徽萧县 4¾		1910 黄海 5.5
	1644 安徽砀山东 4¾	1872 江苏镇江西 4¾	1911 江西九江 5.0
	1644 安徽凤阳 5½	1872 江苏太湖 5½	1913 河南信阳 5.0
	1648 陕西泾阳西 4¾	1879 甘肃武都附近 5¾	1913 湖北麻城 5.0
	1652 安徽霍山 5½	1879 南黄海 6½	1913 江苏镇江 5.5
	1652 安徽霍山东北 6		1916 黄海 5½
	1653 河南息县东北 4¾		1916 山西新绛 5.0
	1654 安徽庐江东南 5½		1917 安徽霍山 6½
			1917 安徽霍山 5.5
			1918 河南通许 5½

3 汶川 8.0 级地震前郯庐带中南段出现的短水准异常变化

既然青藏高原东北缘特强震发生前,华北南部地区地震活动显著增强^[14],那么华北南部地区的前兆观测是否会出现异常变化,特别是郯庐断裂带中南段的跨断层短水准是否会同步出现一些异常现象。

山东省地震局有 14 条跨断层流动短水准测线,主要分布在沂沭断裂带及其附近的北西向断裂上。近年来存在异常(排除其他干扰)的测点有 4 个,分别是甘霖、五胜、高峰头(跨安丘—莒县断裂)、同家岭(跨安丘—莒县断裂),全部位于山东的南部地区

(图 1),正好位于秦岭地区的巨型线性构造带与郯庐断裂带相互作用的边缘地区。

甘霖测线自观测以来有比较好的年变形态,观测值最低值主要出现在每年的 8—9 月,最高值出现在每年的 4—5 月,但 2006 年下半年该测点观测曲线打破了以往的正常年变化规律,没有在 8—9 月达到最低值,而是于 2007 年 1 月达到较低值,截至 2008 年 12 月一直在较低水平波动,为显著的破年变异常。2009 年 1 月异常开始恢复,2010 年 9 月异常已恢复 21 个月。

五胜测线自观测以来总体上存在趋势下降变化,反映断层受张性应力作用,并在下降背景下有比较好的年变形态。2001 年之后下降速率加快,呈逐年下降趋势,与年降雨总量有较好对应关系,可能与

1998 年断层出现过蠕滑活动有关。其中 2002 年降雨较小, 2002 年水准基本没有下降趋势, 2003—2005 年降雨较多, 观测值逐年降低, 2006 年降雨量正常, 观测值呈正常年变, 2007—2008 年降雨量较多, 但观测值没有了年变形态, 而是呈平稳略有转向上升变化, 出现偏离原趋势的背景性异常, 2009—2010 年降雨基本正常, 观测值已表现出正常年变形态特征, 有了趋势和年变形态。

高峰头测线 2006 年、2008 年和 2009 年先后出

现显著加速上升变化, 且 2008 年 1 月—2009 年 11 月, 断层活动速率约为 0.72 mm/a , 显著地高于沂沭断裂带的活动水平。2010 年跟踪分析结果显示, 断层西端点不稳是出现几次高值变化的主要原因。2009 年 11 月—2010 年 9 月断层活动速率较小, 已处于正常水平变化。

同家岭测线 2005—2008 年年变幅度变小, 观测值没有了年变形态, 现已恢复正常年变形态特征。

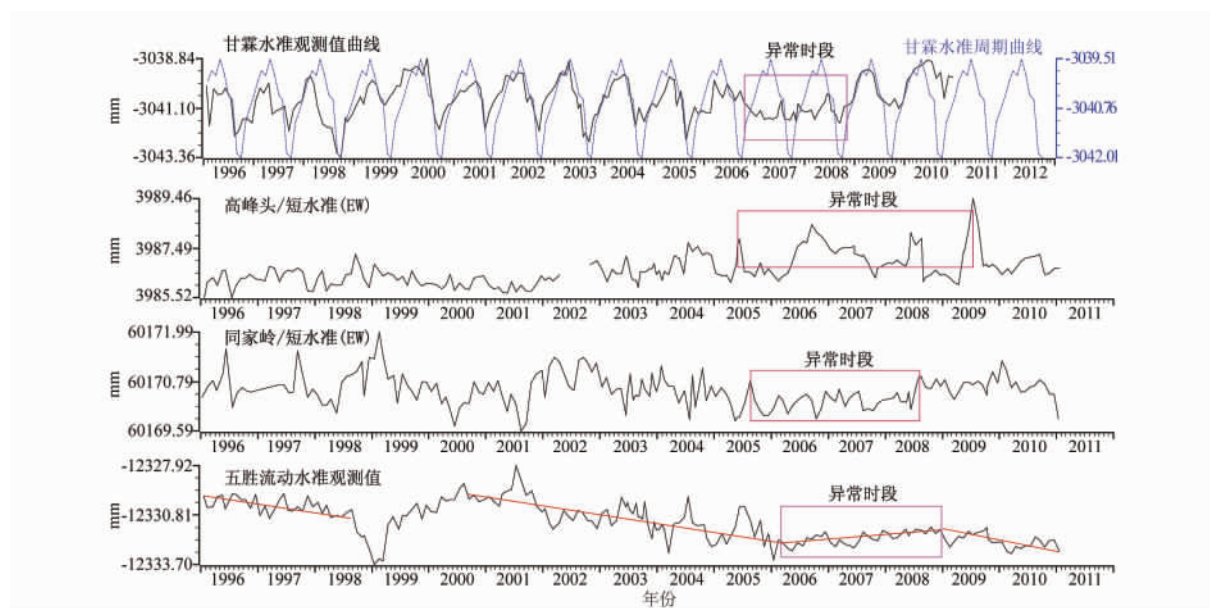


图 2 山东南部地区跨断层短水准异常变化曲线

4 跨断层短水准异常变化的新认识

在震源形成及演变过程中, 距震源一定距离范围内的一些应力敏感点, 由于受大范围区域应力场内应力—应变的作用, 因而该区域的部分岩石也将产生变形或断层发生蠕动等, 从而引起断层运动的变化。

当地震为强震时 ($M_s \geq 7$), 会引起更大范围内的区域应力场的调整, 而大范围应力场的调整同样也会引起更大范围内的前兆异常 (一般上千公里), 且发震地点和远兆异常点可能会处于不同的大地构造单元内。正是华北南部地区与青藏高原东北缘地质构造的关联性, 在青藏高原物质东流驱动力的作用下, 年轻的青藏高原隆起与古老的华北地台、古老的扬子地台交接地带的构造应力场与华北南部地区构造应力场存在明显的相关性^[15-17]。郯庐断裂带中南部跨断层短水准资料的异常变化可以看作是青

藏高原东北缘强震孕育与发生的异地前兆异常变化, 汶川 8.0 级地震后 3 年时间内山东地区跨断层水准异常的恢复和中小地震活动特征的演化 (震群、响应地震、中等地震活动集中) 也证明了这种推断的合理性, 可以作为一个震例来提高对主干断裂附近跨断层短水准异常变化的认识, 这赋予了华北南部地区跨断层运动资料变化新的内涵。这些跨断层短水准资料的异常变化是当地中、强地震孕育过程的源兆反映还是其他大地构造单元内强震孕育的场兆影响, 需要我们从地球动力相互作用的角度, 通过分析与之构造相关的强震孕育地区的地震活动特征, 来综合分析判断。所以一个区域的跨断层短水准资料的异常变化不应局限的认为仅仅是当地局部构造的影响^[18]。

对于特大地震, 特别是 8 级地震的孕育和发生涉及几个块体的相互作用和影响, 所以我们在地震预报时应该把异常信息分别按源兆和场兆信息来处

理和把握,如果是源兆,该异常预示着什么,如果是场兆又预示着什么?应充分考虑跨断层短水准资料的异常变化的复杂性,运用大尺度构造相关分析方

法,通过分析特定构造之间内在的地球运动和地球动力学的相关性来分析此类异常变化,拓展我们分析震情的思路,可能会对特大地震的预测有所帮助。

参考文献:

- [1] 牛漫兰,朱光,宋传中,等. 郯庐断裂带火山活动与深部地质过程的新认识[J]. 地质科技情报,2000,19(3):21-25.
- [2] 张天义,朱嘉伟,盛吉虎. 秦岭大地构造格局的遥感地质分析[J]. 河南地质,1997,15(3):179-195.
- [3] 滕吉文,张中杰,王光杰,等. 喜马拉雅碰撞造山带的深层动力过程与陆-陆碰撞新模型[J]. 地球物理学报,1999,42(4):481-493.
- [4] 曾融生,丁志峰,吴庆举. 喜马拉雅-祁连山地壳构造与大陆-大陆碰撞过程[J]. 地球物理学报,1998,41(1):49-60.
- [5] 张培震,王琪. 中国大陆现今地壳运动和构造变形——速度场与活动板块[C]//现代地壳运动与地球动力学研究. 北京:地震出版社,2001:21-35.
- [6] Brace, W. F., and Kohlstedt, D. L.. Limits on lithospheric stress imposed by laboratory experiment[J]. J. Geophys. Res., 1980,74: 6248-6252.
- [7] 王绳祖,张四昌,田勤俭,等. 大陆动力学—网状塑性流动与多级构造变形[M]. 北京:地震出版社,2000.
- [8] Tapponnier, P. and Molnar, P. Active faulting and Cenozoic tectonics of China[J]. J. Geophys. Res., 1977,105:5721-5734.
- [9] Molnar, P., and Gipson, J. M. A bound on the rheology of continental lithosphere using very long baseline interferometry: the velocity of south China with respect to Eurasia[J]. J. Geophys. Res., 1996,101:545-553.
- [10] 白玉柱,徐锡伟,徐杰. 断裂分段之间不同相互作用对断裂运动的影响[J]. 华北地震科学,2012,30(2):33-38.
- [11] 许华明,周斌,耿师江,等. 磁县大名断层分段特征及活动性[J]. 华北地震科学,2010,28(1):1-7.
- [12] 陈时军,杜历英,魏绪云. 中国大陆地震活动时空分布多重分形特征[J]. 华北地震科学,2010,28(4):1-8.
- [13] 彭丽娟,陆明勇,王秀文. 张北 6.2 级地震前断层活动特征研究[J]. 华北地震科学,2012,30(1):54-58.
- [14] 陈卓超,纪静,塔拉,等. 京津水准复测与垂直形变特征[J]. 华北地震科学,2011,29(2):31-34.
- [15] 肖兰喜,朱元清,陶九庆. 2003. 岩石圈流变强度与中国大陆构造运动关系的探讨[J]. 西北地震学报. 2003,25(4):304-311.
- [16] 刘增乾,徐宪,潘桂棠,等. 青藏高原大地构造与形成演化[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [17] 刘双庆,盛菊琴,曾宪伟,等. 汶川 8.0 级地震对鄂尔多斯块体西南缘断裂体系影响的数值模拟[J]. 华北地震科学,2011,29(2):57-64.
- [18] 高小其,许秋龙,王道,等. 地下流体中强震源兆、场兆和强震远兆特征及其物理成因[J]. 地震,2002,22(3):81-88.

Possible Physics Mechanism of Cross-fault Short leveling Precursor Anomaly in Shandong Area

XIAO Lan-xi, LI Jie, DONG Xiang, FENG Zhi-jun

(Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China)

Abstract: On basis of mechanical background analysis of increased seismic activity in southern North China and architectonic relevance between southern North China and the northeast edge of the Tibetan Plateau, significant change of cross-fault short leveling on Gaofengtou, Wusheng, Ganlin and et al. in middle southern segment of the Tanlu fault zone during 2007—2008 is analyzed. The result shows that the significant change may be related to the 2008 Wenchuan M8.0 great earthquake.

Key words: far field; short leveling; the 2008 Wenchuan M8.0 great earthquake