

南北地震带及青藏块体东部垂直 形变与地震活动研究

张四新, 江在森, 王双绪

(中国地震局第二地形变监测中心, 陕西西安 710054)

摘要:通过对南北地震带及青藏块体东部各形变监测区近30年区域水准资料的计算分析,发现地壳运动和地震活动之间存在一定的呼应关系.地壳运动呈激烈的继承性运动,地震处于弱活动阶段;地壳运动继承性减弱(或呈逆继承性运动),地震处于强活跃阶段.地震活动强弱在时间上明显滞后于地壳运动,二者活动方式具有明显的波动性和周期性.现今地壳运动在运行到波谷后呈缓慢增强的继承性运动,估计未来几年内南北地震带地震活动仍将维持现状,不会出现明显的增强趋势.

关键词:南北地震带;垂直形变;地震

中图分类号: P315.72⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)02-0143-06

0 引言

南北地震带地处我国东西两大构造块体交接的中轴构造带附近,相邻的青藏块体东部地区为高原隆起的梯度带,历来都是构造变形剧烈、地震活跃的地区.

中国地震局第二地形变监测中心在研究区的祁连山—河西、宁夏北部、西(吉)海(原)固(原)、兰(州)天(水)武(都)、川西、滇西及陕西关中地区布设有垂直形变监测网(图1),并积累有近30年的资料.江在森等^[1]利用1971~1995年多期区域水准复测资料系统研究了各区的形变演化特征.本文在上述研究基础上,综合了1995年以来的新测水准资料,并和地震活动性资料相结合,着重探讨了垂直形变和地震活动之间的演化关系,并对南北地震带未来的地震活动趋势做出估计.

1 垂直形变演化特征

1.1 资料处理

考虑到研究区内的各监测区水准复测时间、周期各不相同,采用“整体—局部”的分析方法.具体做法:(1)对各监测区各期水准资料单独采用分段线性速率动态拟稳平差^[2]后,利用最小二乘配置内插拟合^[3,4]求得速率面函数,解算出各个区域、各时间段水准点的平均升降差异值(表1),据此判断形变曲面变形的剧烈程度.(2)寻找各监测区内跨主要活动断层的

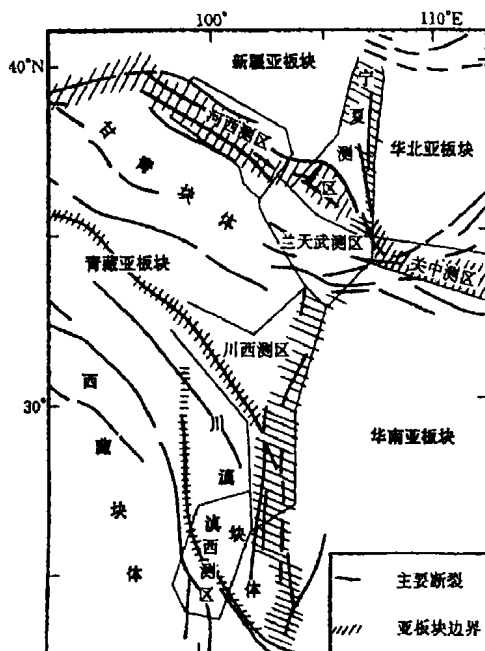


图1 南北地震带和青藏块体东部区域水准网布设图

Fig. 1 Distribution map of regional leveling net in Chinese north-south seismic belt and eastern Qinghai-Xizang block.

收稿日期: 2001-12-10

基金项目: 国家重点基础研究《大陆强震机理与预测》项目(G1998040703)

作者简介: 张四新(1967—),男(汉族),陕西麟游人,高级工程师,主要从事区域水准资料处理分析工作.

测线,设定断层一端的测点为参考点,求得断层另一端测点各时间段的相对形变速率值(表 2),并绘制断层活动形变时序图(图 2),以此了解断层活动的演化特征.

表 1 南北地震带及青藏块体东部各监测区垂直形变场特征

监测区域	观测时段	平均升降差异/[mm·a ⁻¹]	构造运动特征
宁北地区	1970~1976	2.06	逆继承性运动
	1976~1981	2.09	继承性运动
	1981~1984	3.29	继承性运动
	1984~1988	2.53	继承性运动
	1988~1994	2.51	逆继承性运动
西海固地区	1975~1981	4.75	继承性运动不明显
	1981~1985	5.62	继承性运动增强
	1985~1991	4.23	继承性运动
	1991~1998	3.88	继承性运动
关中地区	1971~1977	11.41	逆继承性运动
	1977~1980	9.34	继承性运动恢复
	1980~1986	4.19	继承性运动
	1986~1996	3.90	继承性运动
祁连—河西地区	1972~1979	4.13	逆继承性运动
	1979~1983	8.15	继承性运动
	1983~1989	5.25	持续继承性运动
	1989~1995	4.25	逆继承性运动
	1995~2000	4.76	继承性运动增强
兰天武地区	1972~1976	10.85	逆继承性运动
	1976~1982	6.63	继承性运动恢复
	1982~1987	5.62	持续继承性运动
	1987~1993	3.03	继承性运动减弱
	1993~1999	3.66	逆继承性运动
川西地区	1975~1983	5.00	继承性运动
	1983~1990	7.30	继承性运动增强
	1990~1997	5.01	逆继承性运动
滇西地区	1981~1985	6.76	强继承性运动
	1985~1992	1.79	继承性运动减弱
	1992~2001	1.90	继承性运动增强

1.2 垂直形变演化特征

综合分析表 1、表 2 和图 2 可以得到如下 3 条结论:(1)垂直形变具有明显的时间和空间差异性.从时间进程分析,20 世纪 80 年代以前,关中、兰天武测区相对其它监测区形变差异幅度最大;而 80 年代以后,川西、滇西地区地壳运动在各监测区中最为显著.这种差异性反映了华北亚板块和青藏块体之间对南北地震带各监测区地壳运动的作用力强弱转换(图 1).(2)断层活动呈现一定的时、空差异性.从主要断层的垂直活动速率(表 2)分析,监测区内主要活动断层强度依次为鲜水河断裂、红河断裂、西秦岭断裂、祁连山—

海原断裂,呈现明显的“南强北弱”的空间分布,这与 GPS 测量得到的中国大陆现今地壳水平运动结果^[5]所反映的块体边界构造带活动强度是相一致的,印证了青藏块体的 NE 向的挤压应力是南北地震带区域构造形变的主要动力来源. 此外,断层活动的时间演化表明(图 2),不同的时间段内断层活动速率并不是相同的,常常表现为时强时弱,时快时慢,呈明显的非线性、阶段性活动特征,反映了区域应力场的变化. (3)地壳运动演化过程具有一定的波动性和周期性. 在 1971~2001 年 30 年时间内,南北地震带附近各监测区的构造运动经历了“逆继承性运动—继承性运动—逆继承性运动—继承性运动恢复”的演化过程. 若不考虑 1971~1977 年关中、兰天武地区平均升降差异值,研究区地壳运动升降差异幅度也相应经历了“弱—增强—减弱—有所增强”的演化过程. 现今地壳垂直差异运动在到达波谷后已呈缓慢增强态势.

1.3 垂直形变所反映的动力学特征

岩石圈动力学研究表明^[6],地壳运动受控于构造块体之间的相互作用. 本区地处我国东西两大构造块体交接带附近,属地壳运动的敏感地区. 在以印度板块的向北推挤作为动力来源的青藏块体的作用下,地壳形变的总体特征是,原来上升地区继续上升,原来下降地区继续下降,其运动形式主要表现为继承性的构造运动.

1965~1976 年发生的第四地震活跃幕主体

表 2 主要断层活动速率表

断裂名称	计算时段	断层活动速率/[mm·a ⁻¹]
海原断裂带	1975~1998	-0.12
祁连山断裂	1971~1999	-0.55
西秦岭断裂	1972~1999	-0.86
鲜水河断裂	1979~1997	3.52
红河断裂	1981~2001	2.41

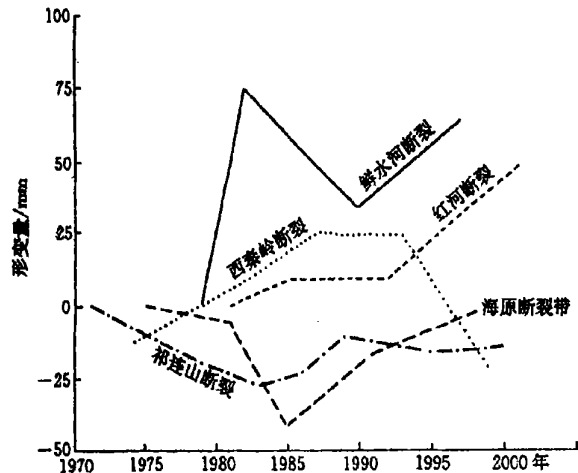


图 2 主要活动断层垂直形变演化

Fig. 2 Evolution of vertical deformation on main faults.

活动地区为青藏块体东边界中南段及华北构造带. 由于华北亚板块构造活动处于活跃状态,包括鄂尔多斯块体在内的华北亚板块向西推挤,导致了南北地震带中北段附近的监测区在 20 世纪 70 年代地壳运动主要呈逆继承性的构造运动. 其中离华北亚板块较近的关中、兰天武地区逆继承性运动幅度最大;而远离华北亚板块的祁连—河西地区,这种逆继承性运动幅度要小. 随着第四地震活跃幕的结束,华北亚板块构造活动处于调整状态,南北地震带附近的监测区在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初又恢复为以青藏块体向北推挤为主的继承性构造运动. 80 年代各个监测区普遍呈强烈的继承性运动,地壳运动较为剧烈,尤其是印度板块东触角的直接影响区域的川、滇地区.

2 垂直形变与地震活动性

2.1 垂直形变与地震活动

在构造应力的持续作用下,地壳中某些薄弱部位受挤压会产生形变,当应变能积累到一定程度会突然释放而造成地震. 因而大地形变与地震活动之间存在一定的呼应关系.

由于水准测量的时间并不是均匀地每年都观测,而地震活动性则每年都有连续观测资料. 为了研究二者之间的内在关系,首先要以地震活动性时序来划分时段,而后再和相应时段的水准资料作对比研究,这样得到的结论才具有客观性和可靠性. 而要较准确地划分地震活动时段,选用的历史地震资料一定要长,统计样本要大. 笔者选用了 1900 年以来南北地震带(20°~40°N, 98°~108°E) M_s6.0 以上地震,并采用相

关研究成果^①、^[7,8]的时段划分统计结果(表 3). 期间共发生 $M_s \geq 6.0$ 以上地震 167 次, $M_s \geq 7.0$ 以上地震 31 次, 并绘制了 $M_s 6.0$ 和 $M_s 6.5$ 以上地震活动 $M-T$ 图(图 3). 不难看出, 地震活动表现出明显的阶段活动性特征, 可以划分为 9 个活动时段, 各活动时段的平均时序时间为 8 年左右, 具有一定的“弱—强—弱—强—弱—强—弱—强—弱”的准周期性活动特点. 其中 1920~1931、1932~1942、1947~1956、1970~1977 和 1988~1996 年属于地震活动较强阶段, 而 1909~1918、1960~1968 和 1979~1987 年属于活动较弱阶段.

表 3 南北地震带 $M_s \geq 6.0$ 地震活动阶段划分

活跃期	活动时段	持续时 间/年	$M_s \geq 6.0$ 地震次数	$M_s \geq 6.0$ 年均频次	$M_s \geq 7.0$ 地震次数	$M_s \geq 7.0$ 年均频次	最大震级/ M	活动性质
1	1909~1918	9	9	1	1	0.1	7.0	弱
2	1919~1931	12	29	2.4	5	0.4	8.5	强
3	1932~1942	10	27	2.7	5	0.5	7.6	强
4	1947~1956	9	29	3.2	7	0.8	8.5	强
5	1960~1968	8	12	1.5	1	0.1	7.0	弱
6	1970~1977	7	26	3.7	7	1.0	7.8	强
7	1979~1987	8	8	1.0	0	0	6.9	弱
8	1988~1996	8	22	2.8	5	0.6	7.6	强
9	1998~2001	3	5	1.7	0	0	6.6	弱?

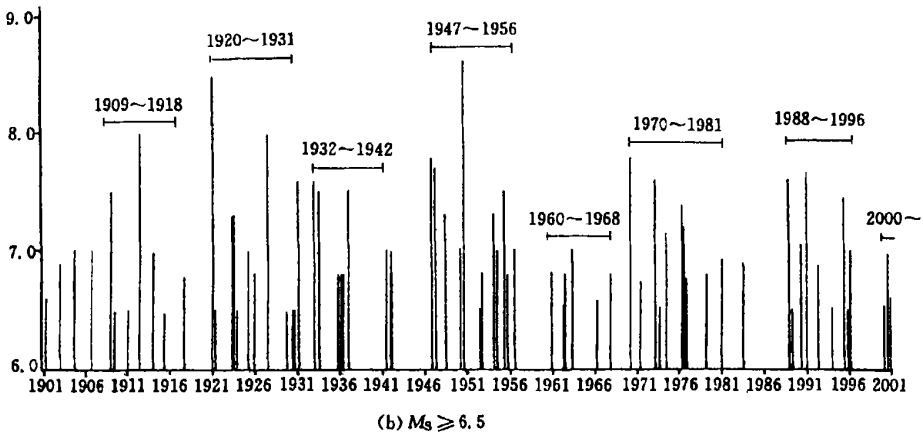
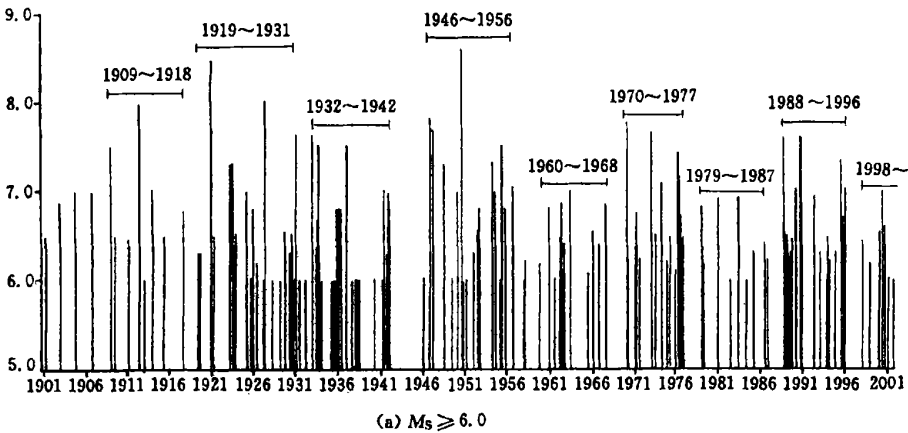


图 3 研究区中强地震 $M-T$ 图

Fig. 3 $M-T$ chart of moderate-strong earthquake in the research region.

① 杨立明. 南北地震带地震活动特征及 2002 年度地震趋势预测研究.

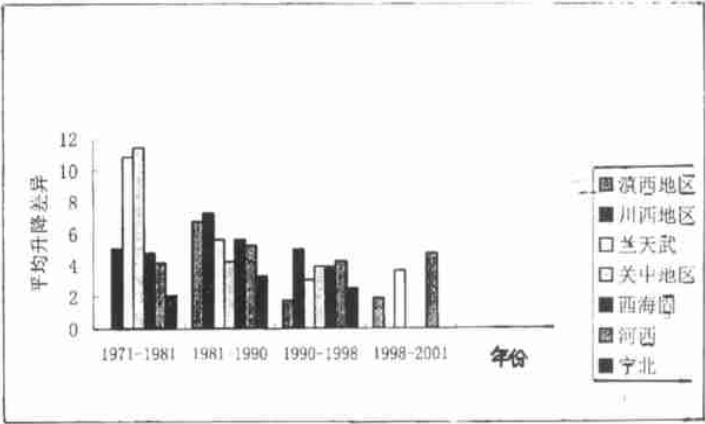


图4 研究区地壳运动强度时间序列图

Fig. 4 Sequence of strength of crustal movement in the research region.

图4是根据表1中各个监测区的平均升降差异量值随时间演化特征,将整个演化过程大致划分为1971~1981、1981~1990、1990~1998和1998~2001年4个阶段,并采用柱形图表示.其中前3个阶段平均时间为9年左右,与地震活动性资料平均活动时段基本接近.将其与地震活动性时间序列相比较,可以看出,1970~1977、1988~1996年2个阶段南北地震带的地震活动频次、强度明显增高,M-T图表现为“密集”特征;与之相对应的1971~1981、1990~1998年构造运动呈逆继承性运动,且垂直差异运动明显减弱.1979~1987年活动阶段,地震活动频次、强度明显偏低,M-T图表现为“平静”特征;与之大致对应的1981~1990年构造运动呈强烈的继承性运动,地壳运动升降差异幅度较大.由此可以看出,垂直形变与地震活动之间存在一定的呼应性,但由于地震的孕育有一个应变能积累过程,故强震活动一般滞后于地壳形变.

2.2 现今垂直形变与地震

从1900年以来南北地震带(20°~40°N,98°~108°E) $M_s \geq 6.0$ 地震的阶段性生活特点分析,1998年以来地震活动已进入一个新的阶段.从其演化过程的特征分析,似乎进入一个地震活动较弱阶段.南北地震带垂直形变演化(表1、图4)表明,现今地壳运动已恢复为继承性运动,而且垂直形变已呈缓慢增强的运动特征.由前述对比分析研究可知,20世纪80年代当南北地震带区域构造运动呈强烈的继承性运动,地震相对于活动较弱阶段,那么可以推测最近的从1998年开始的新的地震活动期也可能属于弱活动期,地震活动强度可能将低于1988~1996年时段,出现7级地震连发局面的可能性不大,但不排除发生个别7级地震的可能.

3 讨论与结论

- (1) 大地形变与地震活动存在一定的呼应性,地震活动一般滞后于地壳形变.其演化过程具有明显的波动性和周期性,由此形成本研究区地震活动“活跃”和“平静”的交替特征.
- (2) 南北地震带地壳形变与地震活动二者之间的活动周期似乎存在一个准同步期.研究区现今垂直形变场显示,构造运动已恢复继承性运动,且地壳运动强度在达到低谷后已有所增强,表明本区构造运动演化可能已进入新的一个“旋回”过程;而南北地震带地震现状及历史地震演化表明,1998年以来,地震活动亦进入一个新的活跃时期.
- (3) 垂直形变与地震活动的对比研究表明,南北地震带1998年以来开始的活跃阶段可能是一个弱活跃期.

[参考文献]

- [1] 江在森, 王双绪, 赵振才. 南北地震带和青藏块体东部近期大地形变与地震特征[J]. 中国地震, 1997, **13**(2): 139—150.
- [2] 江在森, 巩守文. 水准监测网的分段速率整体平差[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1994, **19**(2): 157—162.
- [3] 张希, 江在森, 张四新. 借助最小二乘配置整体解算地壳视应变场[J]. 地壳形变与地震, 1998, **18**(2): 57—62.
- [4] 张希, 江在森. 位移观测值协方差矩阵模拟及其在整体解算地壳应变场中的应用[J]. 西北地震学报, 1999, **21**(1): 72—77.
- [5] 黄立人, 王敏. 中国大陆现今地壳水平运动[J]. 地震学报, 2000, **22**(3): 257—262.
- [6] 马杏垣. 中国岩石圈动力学纲要[M], 北京: 地质出版社, 1987.
- [7] 杨立明, 王振亚, 郑卫平, 等. 青藏高原北部地区7级以上地震孕育演化特征及其应用研究[J]. 西北地震学报, 2000, **22**(2): 147—153.
- [8] 杨立明, 许辉. 青藏块体7级地震相互关系研究初步[J]. 西北地震学报, 2002, **24**(3): 241—246.

STUDY ON VERTICAL DEFORMATION AND SEISMICITY IN CHINESE NORTH-SOUTH SEISMIC BELT AND EASTERN QINGHAI—XIZANG BLOCK

ZHANG Si-xin, JIANG Zai-sen, WANG Shang-xu

(The Second Crustal Deformation Monitoring Center, CSB, Shanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: By calculating and analysing the regional leveling measurement record in near 30 years in Chinese north-south seismic belt and eastern Qinghai—Xizang block, the corresponding relation between crust movement and seismic activity is discovered. During crustal movement represents strong inheritance motion, seismicity is weaker; when inherited movement is abated or represents counter-inheritance motion, seismicity is stronger. The transposition of strengthening and weakening of seismicity is obviously delayed to one of crustal movement, and both activities are periodic and fluctuated. Nowadays crustal movement is enhanced inheritance motion after running to valley, so seismic activity will possibly keep situation and not be enhanced in some future years in Chinese north-south seismic belt.

Key words: Chinese north-south seismic belt; Vertical crust deformation; Earthquake