

邵志刚、张浪平, 2013, 南北地震带北段近期强震趋势研究, 中国地震, 29(1), 26 ~ 36。

# 南北地震带北段近期强震趋势研究

邵志刚 张浪平

中国地震局地震预测研究所, 北京市复兴路 63 号 100036

**摘要** 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震后, 南北地震带可能进入新一轮的强震活跃期。从汶川 8.0 级地震以来  $M_L \geq 5.0$  地震活动空间分布特征来看, 近期南北地震带北段与中、南段存在较大差异。由南北地震带强震前孕震区中强地震活动特征, 并结合当前 5 级地震活动情况, 认为应同时关注南北地震带中、南段和北段的强震危险性。甘东南地区出现的 4 级地震空区被 2011 年 2 月 23 日迭部-岷县交界  $M_L 4.4$  地震打破后, 2011 年 11 月 1 日空区周边又发生了青川  $M_S 5.4$  地震, 表明该空区及周边地区的地震活动增强。类比 1990 年共和 7.0 级地震前的空区演化过程, 认为甘东南地区存在发生 7 级地震的可能。结合对甘东南地区主要大型断裂 7 级地震复发周期的综合分析认为, 需关注南北带北段毛毛山断裂和金强河断裂、香山-天景山断裂东段、黄河断裂灵武段、西秦岭北缘断裂、六盘山-宝鸡断裂和东昆仑断裂东段玛沁-玛曲段发生 7 级地震的可能。

**关键词:** 南北地震带北段 强震趋势 地震空区 断层活动

[文章编号] 1001-4683(2013)01-0026-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

在印度板块与欧亚板块相互作用下, 青藏高原现代地壳形变运动主要受控于高原物质向北推移、挤压隆升和向东挤出。青藏高原北部地区“盆-岭”构造形成过程是青藏高原向东北逆冲增长的过程(许志琴等, 2006; Meyer et al, 1998), 而大量地球物理观测结果表明青藏高原壳幔物质东向逃逸现象主要位于中、南部地区(Klemperer, 2006)。在不同地球动力学过程共同作用下, 鄂尔多斯地块、青藏高原东北缘、巴颜喀拉地块、四川地块、川滇地块、滇西地块发生了不同性质的变形响应, 从南向北、由盖层向基底逐渐发展, 总体上形成了一条由不同方向、不同性质断裂和褶皱构成近 SN 向的复杂构造带和地震活动带, 称之为南北地震带(邓起东等, 2002; 张家声等, 2003)。

划分南北地震带的依据可以归纳为两大类: 一是南北地震带地质构造特征(张家声等, 2003), 二是南北地震带地震活动的空间分布特征(马宗晋等, 1992)。以不同依据定义的南北地震带在空间范围上存在一定差异, 以地震活动空间分布特征划定的南北地震带一般要

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2012-10-07

[项目类别] 中国地震局地震分析预测研究青年工作组专项、十二五科技支撑计划项目(2012BAK19B01-04) 共同资助

[作者简介] 邵志刚, 男, 1977 年生, 博士, 副研究员, 研究方向为地震活动与地球动力学。

E-mail: shaozg0911@126.com

比以其它依据划定的范围大。而对于根据地震空间分布特征划定的南北地震带区域范围,具体划分方法有许多不同的依据和观点,对南北地震带展布范围的认识也不尽相同。在地震预测研究中,根据中国大陆强震的空间分布特征,很多情况下比较宽泛地将中国大陆  $95^{\circ} \sim 110^{\circ}E$ 、 $21^{\circ} \sim 45^{\circ}N$  之间的强震密集地带称为南北地震带。南北地震带是中国大陆地震活动最为强烈的地区之一。根据中国地震台网目录,南北地震带历史上有记载的 7 级以上地震达 71 次,其中 8 级以上地震 9 次。自 1900 年以来,南北地震带共计发生 7 级以上地震 34 次,占同期中国大陆西部强震总频次的 55.7% (34/61)。

从 2008 年汶川 8.0 级地震以来 5 级以上地震活动空间分布特征来看,南北地震带北段与中、南段存在较大差异。汶川 8.0 级、玉树 7.1 级和缅甸 7.2 级地震均发生在中、南段,且川滇交界地区和云南腾冲地区 5 级以上地震集中发生。与此形成鲜明对比的是北段地震活动水平相对较弱,尤其是青藏高原东缘的北段地区存在不同时间尺度的 5 级、4 级地震平静现象。虽然有台网记录以来,南北地震带北段仅发生 1 次  $M \geq 7.0$  地震,但历史上南北地震带北段强震活动强烈,地震频度高、强度大,发生过 1654 年 7 月 21 日天水 8.0 级地震、1739 年 1 月 3 日平罗 8.0 级地震、1920 年 12 月 16 日海原  $8\frac{1}{2}$  级地震和 1927 年 5 月 23 日古浪 8.0 级地震(国家地震局震害防御司,1995;中国地震局震害防御司,1999)。

本文试图结合南北地震带整体强震活动时空特征和南北地震带北段空区演化特征分析南北地震带北段近期强震趋势,并基于现有断层强震活动特征给出未来可能发生强震的空间范围的初步分析结果。

## 1 南北地震带强震期幕活动特征

根据南北地震带 1920 ~ 1996 年的 7 级地震从集特征,可以将南北地震带地震活动分为 4 个活跃期(陈文德,1997)(图 1)。各活跃期强震活动持续时间为 7 ~ 18 年(平均 10.8 年),受同期中国大陆西部及周边大三角地区强震活动的影响,第 1 活跃期持续时间长达 18 年,且前 2 个活跃期之间仍发生了 1941 年澜沧、耿马两次 7.0 级地震。各活跃期内发生 7 级以上地震的次数为 5 ~ 9 次(平均 7 次),最大震级都大于 7.5(表 1)。除第 2 活跃期外,最大地震都发生在活跃期的开始阶段。以此外推,以汶川 8.0 级地震开始的第 5 活跃期可能将持续 10 年左右,此活跃期内还可能发生 3 ~ 7 次 7 级以上地震,汶川 8.0 级地震有可能是南北地震带该活跃期内的最大地震。

表 1 1920 年以来南北带 7 级以上地震活动

活跃期	持续时间(年)	最大震级	7 级以上地震次数
第 1 活跃期(1920 ~ 1937 年)	18	8.5	9
第 2 活跃期(1947 ~ 1955 年)	9	8.6	7
第 3 活跃期(1970 ~ 1976 年)	7	7.7	7
第 4 活跃期(1988 ~ 1996 年)	9	7.6	5
第 5 活跃期(2008 年 ~ ?)	?	8.0?	?

早在 1954 年 Gutenberg 等(1954)根据全球中强地震震中分布图,指出在亚洲大陆内部存在强震集中区,即帕米尔-贝加尔构造带和阿尔卑斯构造带所围成的“大三角地区”。马宗晋等(1997)的研究也认为,中国大陆西部及邻区的地震活动在印度板块与欧亚板块相互

碰撞的动力环境下,向北延伸直至贝加尔一带,东边则与南北地震带连接形成一个相对完整的孕震构造体系,即“大三角区”,该区是全球地震活动最强烈的地区之一(图1)。因此,本文将结合大三角地区的强震活动分析南北地震带强震的时空特征。

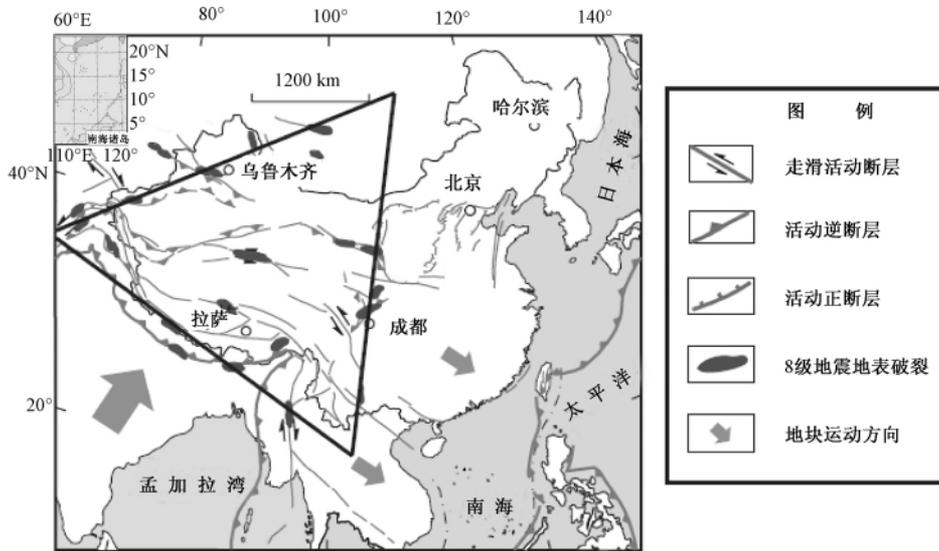


图1 中国大陆西部及邻区活动构造与8级强震破裂分布  
(1800年以来  $M_s \geq 8.0$  地震,构造底图参考闻学泽等(2009)的结果)

从南北地震带强震活动的空间特征来看,南北地震带南、中、北等3段7级以上地震呈现成组活动格局。自1920年以来,共经历了4次成组活动过程。受大三角地区强震活动控制作用,在大三角地区8级地震活跃期间的第1、2活跃期,7级以上地震活动相对较强,南北地震带北、中、南段7级以上地震均较活跃(图2);而在大三角地区8级地震平静时段内的第3、4活跃期,7级以上地震活动相对较弱,南北地震带7级以上地震集中发生在中、南段,自1955年以后南北地震带北段地区仅发生1次7级地震(1990年共和7.0级地震)。2011年11月14日昆仑山口西8.1级地震和2008年5月12日汶川8.0级地震的发生表明,中国大陆西部及邻区的大三角地区目前可能处于8级地震丛发前的过渡时段,类似于1879~1901年8级地震活动状态(马宏生等,2009),而作为大三角地区东边界的南北地震带因受大三角地区大震活动的影响,其活动水平可能会比第3、4活跃期有所增强。2008年5月12日汶川8.0级地震的发生,意味着南北地震带可能将进入类似之前第1、2活跃期的强震活动格局,各段均存在发生7级以上地震的可能。

为分析南北地震带未来强震发生地点,有必要定量总结南北地震带7级强震前孕震区中强地震的空间活动特征。时振梁等(1997)利用不同的检验方法,得到中国大陆不同构造分区历史地震资料基本完整的起始年份。结果表明南北地震带1937年以来5级以上地震记录是相对完整的。1920年以来南北地震带7级地震第2活跃期自1947年开始(图2),因此本文统计南北地震带1947年以来21次7级以上地震前5级以上地震频次(震前5年、震中150km半径范围内)。假如上述时空窗内震前没有5级以上地震,则认为该7级地震发

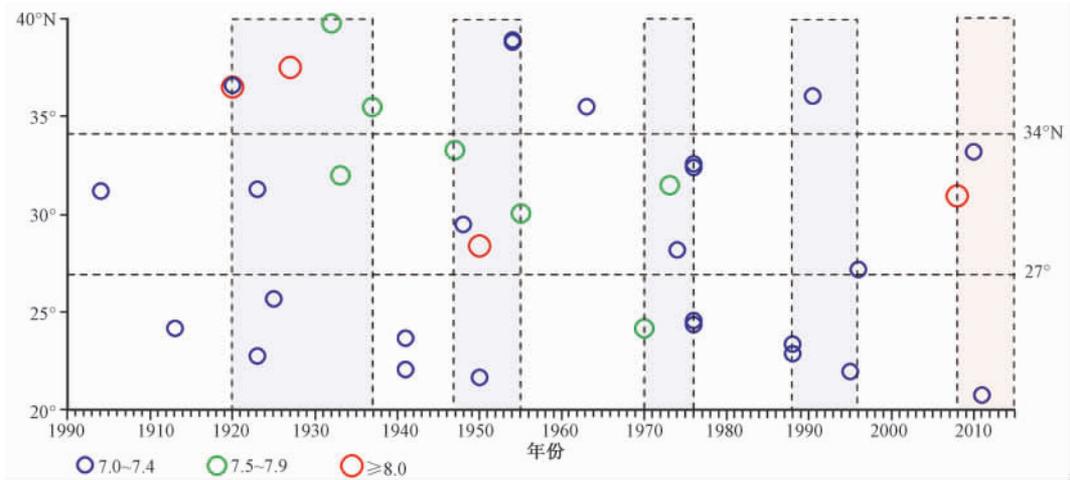


图2 南北地震带各活跃期7级地震时空演化图

生在中强地震的平静区内;如果震前有3次以上5级地震,则认为该7级地震发生在中强地震集中区内;其它情况则认为该7级地震发生在中强地震的少发地区。1947年以来21次7级以上地震中,有10次发生在中强地震相对集中区域,均分布在南北地震带中、南段,而北段1947年以来的7级地震前孕震区中强地震并不活跃(图3)。该结果表明南北地震带中、南段和北段地区7级强震前中强地震活动特征存在较大差异。

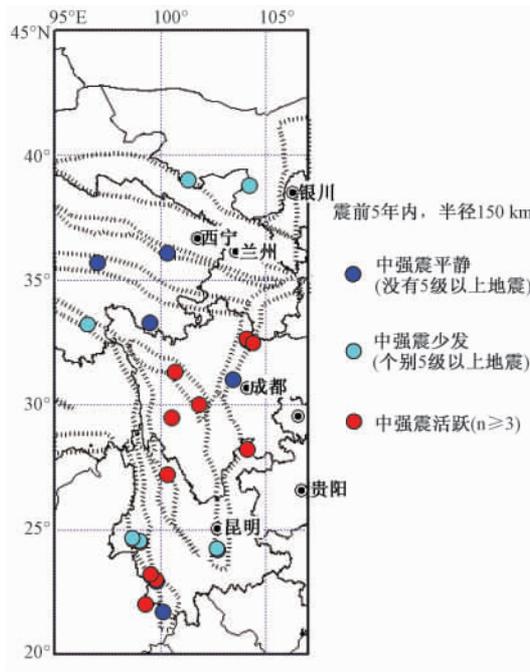


图3 1947年以来南北地震带7级以上地震震前中强地震活动统计

根据 2005 年 6 月 1 日~2010 年 11 月 1 日  $M_L \geq 5.0$  地震资料,以 150km 为半径进行空间扫描,结果表明南北地震带北段与中、南段存在较大差异(图 4)。汶川 8.0 级、玉树 7.1 级和缅甸 7.2 级地震均发生在中、南段,且川滇交界地区和云南腾冲地区 5 级以上地震集中发生。与此相反,南北地震带北段地震活动水平相对较弱,尤其是青藏高原东缘的北段地区存在不同时间尺度的 5 级、4 级地震嵌套平静区。由南北地震带 1947 年以来 21 次 7 级强震前的 5 级以上地震活动特征,结合当前 5 级地震活动情况,应同时关注中、南段和北段的强震危险性。

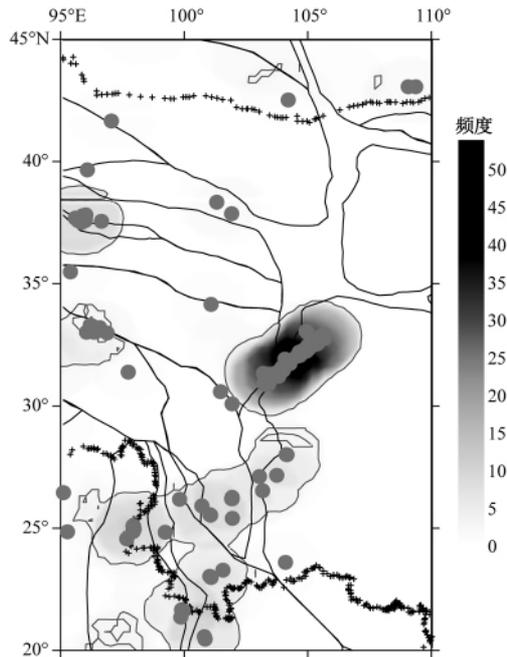


图 4 南北地震带  $M_L \geq 5.0$  地震震中分布  
细线包围区域为频度大于 3 次的集中区

## 2 南北地震带北段空区演化特征

2001 年 7 月 17 日兴海 5.0 级地震以后,甘青川交界地区出现大范围中强地震的平静异常(图 5),在平静区边缘先后发生了 2008 年汶川 8.0 级、2010 年玉树 7.1 级地震。截至 2011 年 12 月 31 日,平静区内仍没有发生 5 级以上地震(图 5(a))。2008 年 3 月 6 日~2011 年 2 月 22 日在 5 级地震的平静区嵌套形成了  $M_L \geq 4.0$  平静区(图 5(b)),2011 年 2 月 23 日迭部-岷县交界  $M_L 4.7$  地震打破了该区  $M_L \geq 4.0$  地震的平静,之后又发生了 3 月 3 日玛曲  $M_L 4.5$ 、6 月 10 日玛沁  $M_L 4.6$ 、11 月 2 日岷县  $M_L 4.9$  地震,截至 2012 年 10 月 31 日,平静区内共发生  $M_L \geq 4.0$  地震 4 次。

震源区在强震前地震活动水平明显低于周围区域活动水平的现象称为“第 2 类空区”,是非常典型的测震学前兆异常(梅世蓉,1960;Mogi, 1979; Wyss et al, 1988),在震情跟踪中常被称为地震空区或围空。南北地震带北段强震前孕震区 5 级以上地震活动多为平静或少

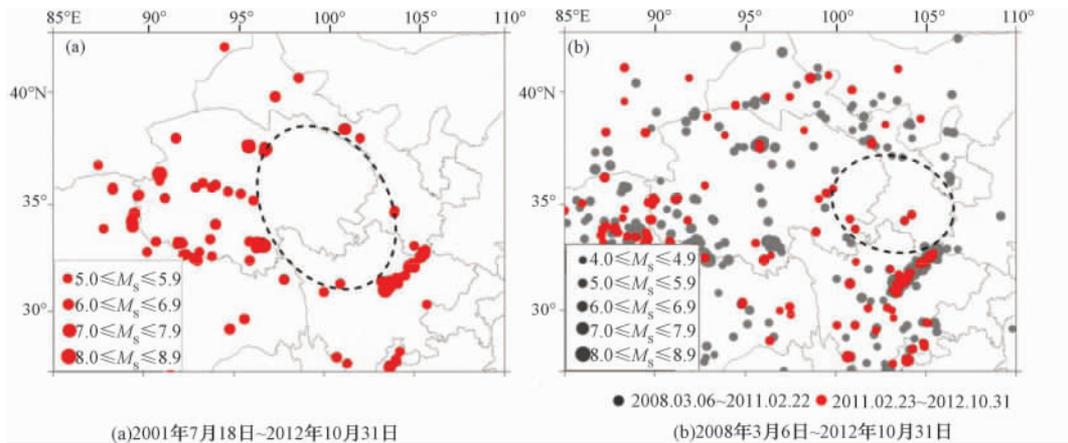


图5 青藏高原北部地区  $M_s5$  和  $M_L4$  地震的空间分布图

黑色为2011年2月22日之前的地震,红色为2011年2月23日~2012年10月31日的地震

发的弱活动状态(图3),且相关研究表明该地区强震前震源区周边5级以上地震围空现象比较突出(郭增建等,1988)。南北地震带北段前兆性地震空区的震例较多,对于由5级地震所围空的前兆性地震空区可以分为3种类型:①5级地震空区周边连续发生7级强震。例如1900~1927年南北地震带北段的5级地震空区,其周边发生1920年海原8.5级、1927年古浪8.0级和1932年昌马7.6级地震。②1次7级强震后在其周边形成的5级地震空区。这类空区对下一次7级地震发震地点具有一定指示意义,例如1947年达日7.7级地震后在南北地震带北段形成5级地震空区,1954年山丹7¼级地震后该空区解体。③7级地震前存在5级和4级地震空区相互嵌套,例如1990年共和7.0级地震前。

目前南北地震带北段5级和4级地震空区相互嵌套的现象与1990年共和7.0级地震前类似。共和7.0级地震前,孕震区周边在1984年之后逐渐形成  $M_L \geq 4.0$  地震空区,该空区被1987年4月30日甘德  $M_L4.0$  地震打破(图6(a)),此后1年内空区内部和周边地区以中等地震活动为主,没有发生  $M_s \geq 5.0$  地震(图6(b));空区打破后第2年,空区周边相继发生3次  $M_s \geq 5.0$  地震(图6(c));第3年,空区周边发生  $M_s6.5$  地震,之后空区内发生了共和7.0级地震(图6(d))。空区被打破后,空区内部及周边地震活动表现为由中等地震到中强震、再到7级强震的快速增强演化过程。

甘东南地区出现的4级地震空区被2011年2月23日迭部-岷县交界  $M_L4.4$  地震打破后,2011年11月1日空区周边又发生了青川  $M_s5.4$  地震(图7(b)),表明该空区及周边地区地震活动增强,类比1990年共和7.0级地震前空区演化过程,甘东南地区存在发生7级地震的可能。

### 3 南北地震带北段发生强震的危险地点分析

中国大陆地区是板内构造活动非常强烈的地区,晚第四纪以来大型断裂活动显著,中国大陆内部7级以上地震活动与这些大型活动断裂有着密切关系(邓起东等,1994;张国民等,2005)。为分析南北地震带北段可能的强震危险地点,有必要分析当前该地区2008年3月

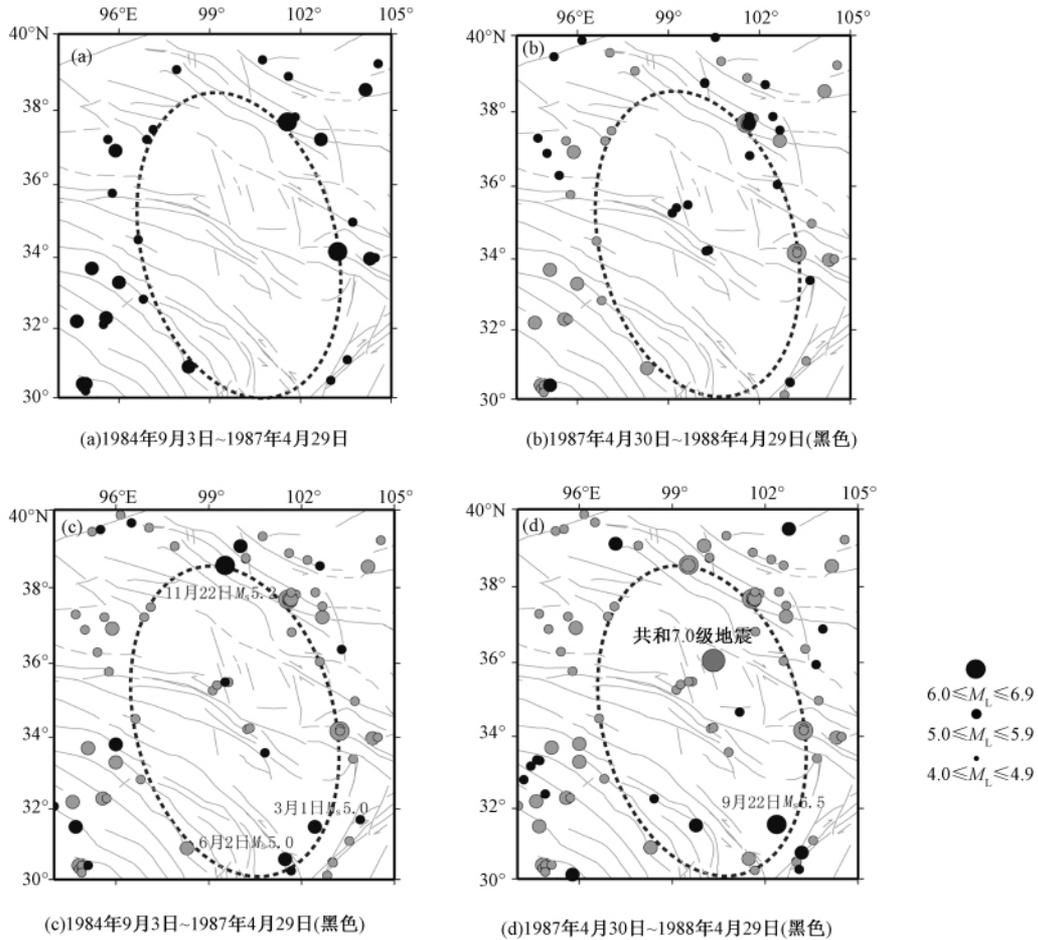


图6 1990年共和7.0级地震前  $M_L \geq 4$  地震空区演化

6日~2011年2月22日  $M_L \geq 4.0$  地震空区内部及周边主要断裂的发震能力。

该  $M_L \geq 4.0$  地震空区跨陇中盆地构造区和甘东南构造区,主要断裂为陇西块体及周缘断裂和东昆仑断裂带东段(图8)。陇西块体位于青藏高原东北缘东段地区,其北部周缘断裂为广义海原断裂带和香山-天景山断裂带;南部为西秦岭北缘断裂;东部为六盘山断裂带;西部是庄浪河断裂带。其中NWW向断裂以走滑兼逆冲活动为主;而NNW向弧形断裂带以逆冲运动为主,伴有断裂扩展褶皱等变形,该地区断裂运动反映了青藏高原NE向挤压的动力学环境。已有的相关研究给出了该地区主要断裂段(毛毛山断裂(才树华等,1994;邓起东,1984)、老虎山断裂(刘百箴等,1994)、香山-天景山断裂(汪一鹏等,1990)、华山西山前断裂(徐锡伟等,1988)、海原断裂(邓起东等,1992;国家地震局地质研究所等,1990)、昌马断裂①、六盘山断裂(袁道阳等,2008;国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组,1988)、西秦岭北缘断裂(曹娟娟等,2003)、金强河断裂(王永成,2001)、冷龙岭断裂(王永成,

① 邓起东等,2009,鄂尔多斯地区活动构造和地震活动(演讲报告)

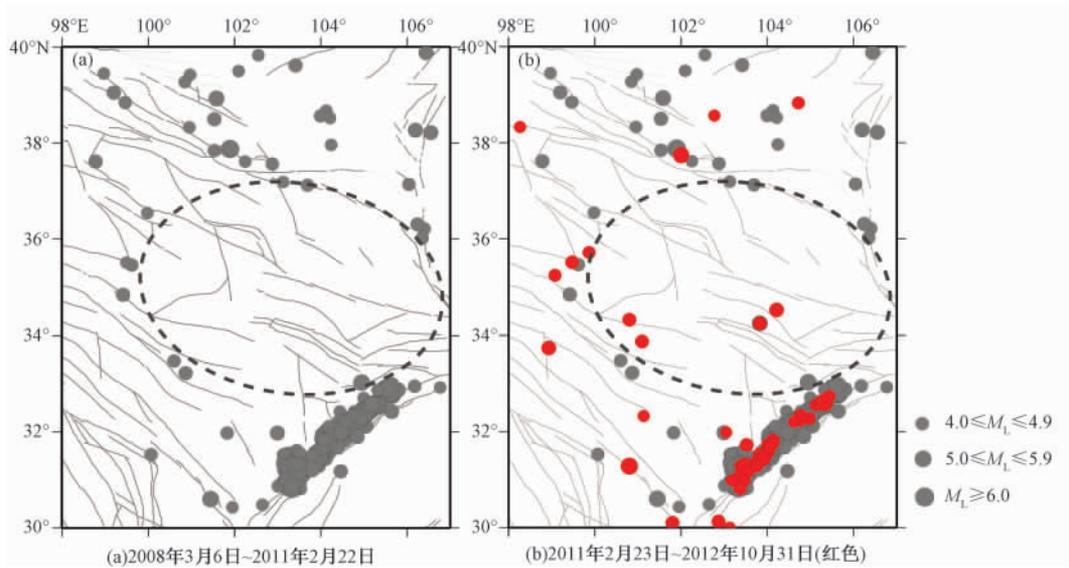


图 7 2008 年以来南北地震带北段  $M_L \geq 4$  地震空区演化

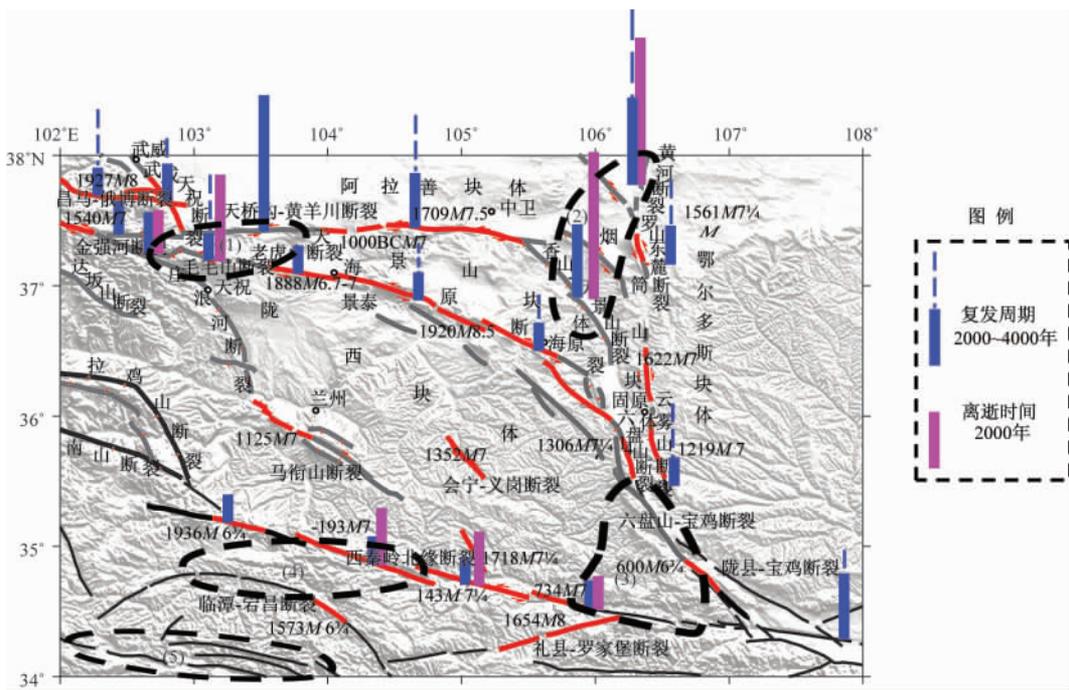


图 8 陇西块体及周缘断裂 7 级地震复发周期

红色为有记录以来强震地表破裂,其中黑色虚线区域为 M7 专项工作组(2012)给出的强震危险区或注意地区

2001)、罗山东麓断裂(柴焱章等,1999)、黄河断裂<sup>①</sup>(柴焱章等,2001)等的 7 级强震原地复发周期。上述断裂中,7 级地震的离逝时间接近或超过复发周期的断裂段主要有毛毛山断裂、金强河断裂、香山-天景山断裂东段、黄河断裂灵武段、西秦岭北缘断裂等(图 8)。虽

然没有关于六盘山-宝鸡断裂 7 级地震原地复发周期的研究结果和 7 级地震强震记录,但有关研究表明该断裂带第四纪以来断层活动非常强烈。

另一方面, M7 专项工作组(2012)给出的南北地震带北段强震破裂空段有天祝-大靖、同心-灵武、西秦岭中-西段、六盘山南段-西秦岭东段、东昆仑断裂玛沁-玛曲段等,均分布在上述  $M_L \geq 4.0$  空区内部及周边地区。

## 4 结论与讨论

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震后,南北地震带可能进入新一轮强震活跃期。由汶川 8.0 级地震以来  $M_L \geq 5.0$  地震活动空间分布特征来看,近期南北地震带北段与中、南段存在较大差异。由南北地震带 1947 年以来 21 次 7 级强震前的 5 级以上地震活动特征,结合当前 5 级地震活动情况,本文认为应同时关注中、南、北段强震危险性。

结合南北地震带北段地震活动背景和甘东南地区主要大型断裂 7 级地震复发周期综合分析认为,南北带北段  $M_L \geq 4.0$  地震空区被打破后,空区内部及周边的毛毛山断裂、金强河断裂、香山-天景山断裂东段、黄河断裂灵武段、西秦岭北缘断裂、六盘山-宝鸡断裂和东昆仑断裂东段玛沁-玛曲段是可能发生 7 级地震的危险地点(图 8)。

南北地震带强震前孕震区中强地震活动差异可能存在更深层次的地球动力学成因。青藏高原大地电磁测深的导电性剖面(魏文博等,2006)和壳幔介质波速成像(Yang et al, 2010)的研究结果表明,青藏高原中北部以昆仑山断裂为界,其南北壳幔物性结构存在很大差异。昆仑山断裂以北地壳和上地幔为高阻区,对应的壳幔介质速度相对较大,表现为冷壳、冷幔和坚硬的介质特性。昆仑山断裂以南中下地壳和上地幔普遍存在低阻区,对应的壳幔介质速度相对较小,表现为热壳、热幔和软弱的介质特性。南北地震带北段和中、南段 7 级强震发生前,孕震区中强地震活动特征存在较大差异,可能就是由于其北段和中、南段壳幔介质物性存在的显著差异所致。

另一方面,2008 年以来南北地震带(除甘东南地区)除 2008 年 3 月 6 日~2011 年 2 月 22 日  $M_L \geq 4.0$  地震空区外,武威-天祝断裂和天桥-黄羊川断裂往北的甘中地区存在更为明显的  $M_L \geq 4.0$  地震空区(图 7(a)),而该空区东西两侧 1954 年分别发生了甘肃山丹 7 $\frac{1}{4}$ 级、内蒙古腾格里 7.0 级地震,这两次地震之间的断裂是否是查-固(查汉布拉格-三关口-青铜峡-固原)断裂(张进等,2007)上的强震破裂空段有待进一步深入研究。本文尝试将地震活动图像和活动断层研究结果综合应用于强震趋势和危险地点的分析,但近期甘中  $M_L \geq 4.0$  地震空区内部断裂活动特征的相关研究远不如海原断层等大型活动断裂。因此,本文仅是有关南北地震带强震趋势和危险地点的初步研究,仍需综合更多的观测资料做更多的深入研究。

致谢:本研究得到了闻学泽研究员、刘桂萍研究员和马宏生博士的指导,在此谨表谢忱。

## 参考文献

- 才树华、贾云鸿、何秀琴等,1994,毛毛山活动断裂带运动学特征及与海原活动断裂带的对比,见:中国地震学会地震地质专业委员会,中国活动断层研究,48~57,北京:地震出版社。
- 曹娟娟、刘百麓、闻学泽,2003,西秦岭北缘断裂带特征地震平均复发间隔的确定和地震危险性评价,地震研究,26(4),

- 372~381。
- 柴炽章、廖玉华,1999,罗山东麓断裂最后一次错动事件的再研究,西北地震学报,**21**(3),296~301。
- 柴炽章、廖玉华、张文孝等,2001,灵武断裂晚第四纪古地震及其破裂特征,地震地质,**23**(1),15~23。
- 陈文德,1997,中国南北地震带1900年以来强震的时空分布特征及其预报意义,四川地震,(3),17~22。
- 邓起东,1984,中国几条活动断裂的运动机制、滑动速率和地震重复性的研究概述,国际地震动态,(3),5~8。
- 邓起东、刘百篋、张培震等,1992,活动断裂工程安全评价和位错量的定量评估,见:活动断裂研究编委会,活动断裂研究(2),236~246,北京:地震出版社。
- 邓起东、徐锡伟、于贵华等,1994,中国大陆活动断裂的分区特征及其成因,见:中国地震学会地震地质专业委员会,中国活动断层研究,1~15,北京:地震出版社。
- 邓起东、张培震、冉勇康等,2002,中国活动构造基本特征,中国科学(D辑),**32**(12),1020~1030。
- 国家地震局地质研究所、宁夏回族自治区地震局,1990,海原活动断裂带,北京:地震出版社。
- 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组,1988,鄂尔多斯周缘活动断裂系,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。
- 郭增建、马宗晋,1988,中国特大地震研究,北京:地震出版社。
- 刘百篋、袁道阳、刘小凤等,1994,老虎山活断裂晚第四纪构造活动及古地震研究,见:中国地震学会地震地质专业委员会,中国活动断层研究,58~74,北京:地震出版社。
- M7 专项工作组,2012,中国大陆大地震中-长期危险性研究,北京:地震出版社。
- 马宏生、邵志刚、周龙泉等,2009,汶川 8.0 级地震后中国大陆强震活动状态研究,地震,**32**(4),63~71。
- 马宗晋、李献智、金继宇,1992,地震迁移的规律、解释和预报——中国大陆四条地震带的地震迁移,地震地质,**14**(2),129~139。
- 马宗晋、汪良谋、李存梯,1997,中国及邻区特大地震地质与地球物理环境和危险区划分,见:国家地震局科技发展司,中国大陆 2005 年前强震危险区预测研究,172~182,北京:地震出版社。
- 梅世蓉,1960,中国的地震活动性,地球物理学报,**9**(1),1~19。
- 时振梁、汪良谋、傅征祥等,1997,中国大陆中长期强震危险性预测方法研究,北京:海洋出版社。
- 汪一鹏、宋方敏、李志义等,1990,宁夏香山-天景山断裂带晚第四纪强震重复间隔的研究,中国地震,**6**(2),15~24。
- 王永成,2001,祁连山中东段断裂的地震危险性分析,西北地震学报,**23**(4),330~338。
- 魏文博、金胜、叶高峰等,2006,藏北高原地壳及上地幔导电性结构-超宽频带大地电磁测深研究结果,地球物理学报,**49**(4),1215~1225。
- 闻学泽、张培震、杜方等,2009,2008 年汶川 8.0 级地震发生的历史与现今地震活动背景,地球物理学报,**52**(2),444~454。
- 徐锡伟、张宏卫、邓起东,1988,渭河盆地华山西前断裂带古地震遗迹及其重复间隔,地震地质,**10**(4),206。
- 许志琴、李海兵、杨经绥,2006,造山的高原——青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型,地学前缘,**13**(4),1~17。
- 袁道阳、雷中生、张俊玲等,2008,1219 年宁夏固原地震考证与发震构造探讨,地震学报,**30**(6),684~657。
- 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。
- 张家声、李燕、韩竹均,2003,青藏高原向东挤出的变形响应及南北地震带构造组成,地学前缘,**10**,168~175。
- 张进、李锦轶、李彦峰等,2007,阿拉善地块新生代构造作用——兼论阿尔金断裂新生代东向延伸问题,地质学报,**81**(11),1481~1497。
- 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。
- Gutenberg B, Richter C F, 1954, Seismicity of the Earth and the Associated Phenomena, Princeton: Princeton University Press, 1~38.
- Klemperer S L, 2006, Crustal flow in Tibet: geophysical evidence for the physical state of Tibetan lithosphere, and inferred patterns of active flow. In Law R D, Searle M P and Godin L (eds), Channel flow extrusion and exhumation in continental collision zones, Geological Society, London, Special Publications, **268**, 39~70.
- Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al, 1998, Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau, Geophysical Journal of International, **135**,1~47.

Mogi K, 1979, Two kinds of seismic gaps, *Pageoph*, **117**, 1172 ~ 1186.

Wyss M, Habermann R E, 1988, Precursory seismic quiescence, *Pageoph*, **126**, 319 ~ 332.

Yang Y J, Zheng Y, Chen J, et al, 2010, Rayleigh wave phase velocity maps in Tibet and the surrounding regions from ambient seismic noise tomography, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, doi:10.1029/2010GC003119.

## Study of strong earthquake recent trends on the northern segment of north-south seismic belt

Shao Zhigang Zhang Langping

Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China

**Abstract** After the May 12, 2008 Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake, the north-south seismic belt has probably entered a new active period of strong earthquakes. The spatial distribution of  $M_L5.0$  seismic activity since the Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake shows that the seismic activity has significant difference between the northern and the central-southern section of the north-south seismic zone recently. The characteristics of the strong earthquake activity in the seismogenic area before earthquake on the north-south seismic zone and the current condition of  $M_L5.0$  seismicity, draw our attention to the risk for strong earthquake both in the central-southern section and the northern section of north-south seismic zone. After the  $M4.0$  seismic gap of the southeast Gansu was broken by the event which occurred in the junction of Diebu and Minxian on February 23, 2011, and Qingchuan  $M_s5.4$  earthquake occurring around the seismic gap on November 1, 2011, it reveals the enhancement of seismic activity at the gap and its surrounding. The analog of the evolution of the seismic gap before the 1990 Gonghe  $M7.0$  earthquake shows a possibility of a magnitude 7.0 in the southeast of Gansu. Combining with the  $M7.0$  recurrence period of major large-scale fault, a comprehensive analysis shows that we should watch for the Maomaoshan fault and the Jinqianghe fault of the northern section of the north-south seismic zone, the eastern section of Xiangshan-Tianjingshan, the Lingwu segment of Yellow River fault, the north margin fault of West Qinling, Liupanshan-Baoji fault, the Maqên-Maqu segment of eastern section of East Kunlun. There exist the possibility for the occurrence of a event with magnitude 7.0 along these faults.

**Key words:** Northern segment of north-south seismic belt Strong earthquake trends  
Seismic quiescence Activity of fault