

文章编号: 1006-6616 (2011) 01-0041-14

应用遥感构造解析方法 分析汶川和玉树地震的构造活动过程 ——试作区域性地震活动预测分析

李述靖

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 每次地震都是一次岩石圈表层的构造变形与位移, 一组时空相近而有成生联系的地震, 代表着某种方式与方向的地壳运动, 即每次地震均可视为一次“地震—构造事件”。应用遥感构造解析方法, 将地震视为“地震—构造事件”, 对中国近 20 年来的地震活动进行分析和危险区评估, 结果比较合乎实际。据此, 对未来 5~10 年中国东部地区的地震活动趋势进行了预测, 认为: 两广及其沿海地带和华北平原中部存在发生强破坏性地震的较大风险。

关键词: 遥感构造解析; 地震—构造事件; 汶川地震; 玉树地震; 青藏滇缅—印尼歹型构造

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

1994 年台湾海峡南部发生 7.2 级地震, 震感明显波及大陆广大地区, 显示 1990 年以来台湾西部地震活动有所增强, 预感将对大陆地区的地震活动产生影响。1999 年台湾南投集集地震后, 根据地震与构造的关系, 对可能发生强震的地区 (包括龙门山构造带) 作了一些分析和评估, 汶川地震检验了遥感构造解析对我国新构造活动的认识。本文根据“地震—构造事件”判断陆壳表层构造岩片的运动方式, 检验构造认识; 进而依据陆壳表层构造岩片运动趋势, 分析可能发生强震的地区或地点, 进行地震活动趋势研究和地震危险区的评估。

1 汶川“地震—构造事件”

2008 年 5 月 12 日四川汶川发生里氏 8 级地震, 震源深度 14 km, 震中烈度达 XI 度以上, 地震持续时间 100 余秒^①。5 月 12 日至 8 月 5 日, 沿龙门山断裂构造带, 先后发生 6 级以上强余震 9 次, 地震活动自西南向东北发展, 强余震主要在东北段的北川—青川一带发生。地震烈度调查表明, 极震区基本沿龙门山构造带分布, 走向北东, 长约 300 km, 宽度超过 20 km, 呈狭长带状; 另外, 自青川向北的陇南康县、成县、武都、文县以及陕西宁强、略阳

收稿日期: 2010-12-29

作者简介: 李述靖 (1936-), 男, 地质力学及区域地质专业研究员。E-mail: lee1936395@sohu.com

^①有关地震的信息来自中国地震信息网 (<http://www.csi.ac.cn>) 和中国地震网专业地震信息网 (<http://www.ceic.ac.cn>), 地震发生日期为世界协调时。

等地,破坏也比较严重。震后地质调查发现,本次地震破裂带从漩口附近开始,沿龙门山断裂带的“映秀—北川断裂”向NEE方向单向发展,至青川附近,断续延长约270 km;与此同时,与其平行的山前断层“灌县—江油断裂”也发生了活动,导致一系列地震发生^[1-4]。地震构造活动使断裂西北盘的岷山—巴颜喀拉山地块(简称岷山地块)向NEE方向右行逆冲运动,四川盆地地块(简称四川地块)相对向西南方斜下降,两侧发生明显的位移,地震断裂的垂直与水平位移4~8 m。地震断层西南段以NW—SE向地壳缩短为主,岷山地块上升,四川地块下降,东北段走滑分量逐渐加大,西北盘相对向NEE方向运动,垂直与水平最大位移量均接近10 m。震源机制分析表明:震源断裂面产状 $315^{\circ}\angle 39^{\circ}$,滑动方位角 120° ,主破裂面走向 $N67^{\circ}E$ 倾向NW;西南段倾角较缓,以NW—SE向挤压为主,东北段破裂面变陡,右行剪切滑动增强^[5-8]。原有地质资料显示:龙门山断裂带的走向自西南向东北从NE向渐变为NEE方向;构造型式上,灌县—茂县间(西南段,即茶坪山段)碾掩推覆、飞来峰与构造窗都非常发育,安县—马角坝段(东北段)以逆冲叠覆为主^[9-10]。此次“地震—构造”事件基本沿袭了这种构造活动方式,沿既有的龙门山断裂带发生新的压扭性破裂,使岷山地块向NE方向右行逆冲上升,四川地块向西南斜下降。对于岷山地块来说,除向SSE逆掩推覆外,明显发生了向NEE方向的剪切—推覆运动。据遥感构造解析,岷山地块前缘的主断层为岷山东麓近南北稍偏东走向的断裂带,该断裂带向北逐渐转为NW方向,与白龙江断裂带相连,经西倾山东麓汇入昆仑—西安NW向巨型走滑断裂带,向南在茂县附近转为NE向,汇入龙门山断裂带。它的前方,有向东凸出、互相叠覆的摩天岭和勉略宁舌形推覆岩片。在本次地震中,摩天岭岩片内文县附近有较强的余震发生,勉略宁岩片周边破坏比较严重,在一定程度上是前缘推覆构造岩片受岷山地块向东推挤的影响所致(见图1)。

综合起来看,导致汶川地震的地壳挤压作用,主要发生在NW—SEE方向上。这一点还可以从历史上一些相关的强震活动中得到证明。2001年11月昆仑山口西8.1级地震,NW向断裂发生显著的左行走滑运动,岷山—巴颜喀拉地块沿昆仑—西安断裂带向SEE方向运动(详见下文)。1976年8月松潘7.2级双震就发生在岷山东麓的弧形断裂带上,震源机制分析表明:先发生的一次位置靠北,在弧形构造北翼,震源较浅(15 km),主压应力方向为NE—SW向;后一次地震向南迁移,发生在弧顶附近,震源较深(19 km),主压应力转为NW—SEE方向,代表了岷山地块的运动方向^[11]。

2 汶川地震前东亚地区地震—构造活动情况

1990年以来,台湾西部地震活动增强,1994年台湾海峡南部发生7.2级强震,波及海峡西岸广大地区,包括杭州、南昌、武汉等地均有震感。1999年9月21日台湾西部山原交界附近的南投集集,发生7.4级强震,震源深度8 km,地震持续时间105 s,随后几天中接连发生3次6.7级以上的强余震,破坏性很大,极震区烈度达XI度。地表调查发现,地震破裂带走向NNE,地震导致的地表破裂带长达105 km,断层上盘向西北方向左行逆掩斜冲,最大位移超过10 m。震源机制分析获得的破裂面走向 $N18^{\circ}E$,倾向SE,倾角 19° ,上盘岩块运动方向为 300° ,挤压为主,兼有左行滑动,挤压作用方向与汶川地震一致^[12]。这两次地震,与台湾东部地区频发的强震有所不同。台湾东部地区地震,主要受高角度东倾的花莲断裂带控制,沿大洋地(板)块与大陆地(板)块的边界发生,震源相对较深,地块间的

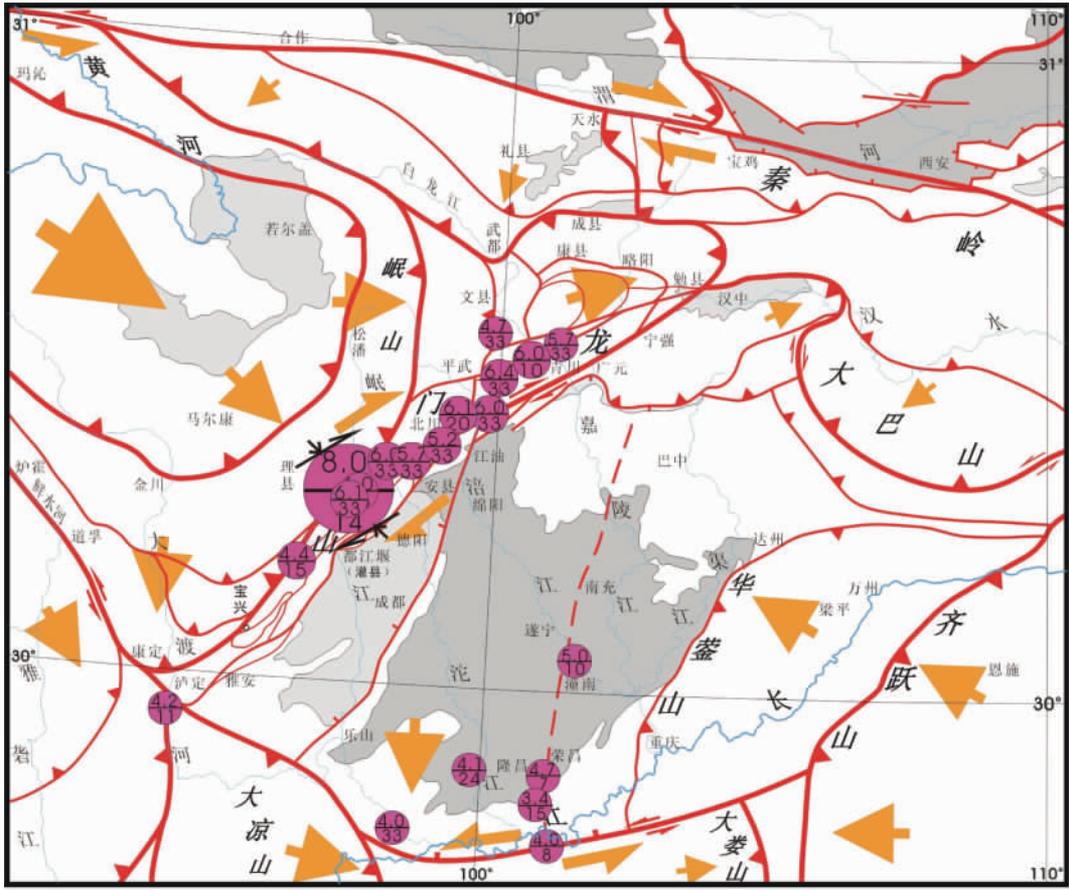


图 1 2008 年 5.12 汶川 8.0 级地震区域遥感构造解析图 (图例说明见图 2)

Fig. 1 Remote sensing structures analysis in the area of M_s 8.0 Wenchuan earthquake on May 12th, 2008

推挤作用于台湾造山带。而这两次地震，发生于台湾造山带西侧，属大陆地块内部的表层浅源地震，所产生的推力直接作用于大陆地块，对大陆地区的影响显然远大于台湾东部地震。结合遥感构造解析对中国活动构造系统的认识，估计将对大陆地区地震活动产生直接影响。海峡南部地震发生后，对大陆地区地震活动趋势作了分析。事实是：1996 年 5 月和 1999 年 1 月位于五原—北京 NW 向地震带上的内蒙古固阳和河北张北先后发生 6.4 级和 6.3 级地震；1995 年 7 月和 1996 年 2 月，云南孟连和丽江先后发生 7.3 级和 6.9 级强震。南投集集地震后，2000 年在云南姚安有 6.4 级地震发生，在龙门山山前断裂带上的四川安县附近发生了有感地震。当时以为，这些情况多少已经说明台湾西部浅源地震与大陆地区地震活动存在一定联系。

事实上，二者的相互影响远不止此。在台湾西部及台湾海峡地区接连发生 7 级以上强震之后近 10 年，才在龙门山构造带的汶川附近引发 8 级强震。紧随 1999 年台湾南投集集强震而来的大陆高能地震是 2001 年昆仑山口西的 8.1 级强震。该地震发生在 NW 向 (290°) 的昆仑山走滑断裂带上，震源深度 10 km，地震活动自西向东扩展，形成长 426 km、宽数十米的地表破裂带，具有多点破裂特征，总体为以左行走滑为主，最大水平位移接近 10 m，垂直位移 4 m，南盘向 SEE 方向运动^[13]。2005 年 11 月，江西九江发生少有的 5.7 级破坏性

地震, 据调查, 影响带沿长江呈 NW 向展布, 黄石一带有明显震感。2006 年湖北随州三里冈有 4.2 级有感地震发生。它们都发生在昆仑山走滑断裂带的东南段, 该带向东南延伸至台湾岛北侧, 昆仑山地震和昆仑山走滑断裂带的最新活动迹象显示出昆仑山断裂带与台湾构造活动的内在联系。这些事实说明, 昆仑山断裂带南侧的岷山—巴颜喀拉地块向 SEE 方向运动, 与台湾南投集集地震导致的江南地块向 NW 方向推挤的共同作用, 加强了龙门山构造带受挤压的程度, 积累起更大的势能 (见图 2)。图 2 根据遥感解译编制, 该图概略表达了中国及其邻近地区陆壳表层构造的基本特征以及它们所反映的现代地壳运动方式与方向, 同时标注了 1990 年以来发生的强震和部分有感地震^[14-15]。

其间, 东亚地区的地震活动形势也在变化。2002—2006 年间中国大陆地区地震活动相对平静, 而周边地区地震却日趋活跃。2004 年 12 月 26 日, 印度尼西亚苏门答腊西北部锡默卢岛附近发生 9.3 级大地震 (仅次于 1960 年智利 9.5 级大地震)^①。地震发生在水下 10 km 深处, 持续时间达 500 s, 在海底形成长达 1200 km、宽约 100 km、自南向北由 NW 向渐转为近 SN 向的弧形破裂带。破裂带自爪哇海沟西北端开始, 向北沿尼科巴—安达曼岛弧西侧分布, 主要表现为自东南向西北发展。地震活动与其同步, 主震发生在地震断裂带南段的锡默卢岛附近, 最强余震 (7.3 级) 发生在中段尼科巴群岛地区, 北段安达曼群岛附近有大量 5.7~6.3 级余震发生。地震断裂带上盘 (东北盘) 仰冲兼有右旋错动, 上盘地块向西南发生 20~36 m 不等的位移, 苏门答腊岛西北端位移量最大, 西南盘 (海底) 显著下降^①。此次地震释放的能量巨大, 影响范围很广, 是一连串“地震—构造事件”中的一环。这次地震前 3 天, 澳大利亚东南的麦夸里岛曾发生 8.1 级大地震; 这次震后的当天下午, 中国云南楚雄双柏就发生了 5 级地震, 青海柴达木地区小震活动陡增至 10 倍以上。稍早一些, 有前述云南孟连、丽江以及宁蒗 (6.2 级) 等强震发生, 它们均发生在青藏滇缅—印尼“歹”形构造带的东侧, 震源深度 10 km 左右, 震源机制分析和震后地质调查以及 GPS 监测研究都反映地块的运动方向为向南推移^[16]。结合印尼大地震的发震断裂以向西南仰冲为主的事实, 区域陆壳表层有顺时针旋转倾向。随后, 2005 年 3 月 28 日 (苏门答腊西南明打威群岛 8.7 级)、7 月 17 日 (爪哇岛日惹以南圣诞岛 7.2 级)、2007 年 1 月 21 日 (苏拉威西 7.2 级)、9 月 12 日和 13 日 (苏门答腊明古鲁西南 8.2 级和 8.3 级), 沿印度尼西亚群岛西南侧和东南边的爪哇海沟等地区, 不断有 7~8 级强震发生, 释放的能量巨大^①。当时有一种认识: 认为周边地区地震能量的集中释放, 可能会降低中国地震风险。但基于青藏滇缅—印尼构造带属同一构造系统和历史上两地地震活动存在相关性的认识, 多数人仍然怀着忐忑的心情, 密切关注着中国大陆地区的地震活动情况, 猜测着可能触发强烈破坏性地震的地区, 不乏有研究成果认为龙门山构造带将发生强震^[17]。

2008 年 5 月 12 日汶川发生 8 级强震, 造成巨大损失^[18-24]。一方面, 强烈破坏性地震确实发生了, 再一次证实青藏地区与印尼地区的构造活动存在内在联系, 这次两地 8 级以上强震的时间关联尺度为 4 年; 另一方面, 对地震未能作出任何有效的预测与预警, 说明在地震预报方面, 人类还面临着许多未知领域。如前所述, 龙门山构造带的地震活动还与台湾地区地震有密切联系。汶川震后不久, 台湾南北分别有 6 级左右地震发生。上述这些地震, 均属于上地壳范围内的浅源地震。这些事实说明: 大陆地区的地震活动与陆壳表层沿壳内低速层

① 有关地震的信息来自中国地震信息网 (<http://www.csi.ac.cn>) 和中国地震网专业地震信息网 (<http://www.ceic.ac.cn>), 地震发生日期为世界协调时。

的地质构造运动密切相关,根据陆壳表层构造运动的方式与方向,推断地震迁移趋势,辅助进行强震的中长期预测,不失为一个有现实意义的研究方向。

3 青藏滇缅—印尼歹型头部构造的遥感构造解析

汶川震后,通过遥感构造解析研究,进一步审视印度尼西亚岛弧构造与青藏地区构造的关系,分析其相互联系及“歹”型头部的具体结构。研究发现,西藏东部念青唐古拉山西端发育有 NE 向的左行走滑构造带,东南盘向东北方向水平推移距离可达 500 km,它们组成一个剪切—推覆系统,前缘形成向东北凸出的藏东念青唐古拉山—高黎贡山弧形构造,由多个逆掩叠覆的岩片组成(见图 3)^①。东北边缘有由杂多北、小苏莽、江达、巴塘、义敦—得荣和中甸等 6 个“飞来峰式”推覆岩片组成的“花绿状”推覆构造带,前方是由金沙江断裂带(杂多—江达—梅里雪山东侧)与“索县—昌都—梅里雪山西侧”断裂带所围限的他念他翁山“新月形”推覆构造岩片,主体是由“索县—昌都—梅里雪山西侧—龙陵—曼德勒”断裂带和“当雄—嘉黎—掸高山东侧—曼德勒”断裂带所围限的念青唐古拉山—高黎贡山“方弧形”构造岩片,后方驮载着“长舌形”的工布江达构造岩片和“镰刀形”的掸高山构造岩片,后缘边界,由雅江断裂带东段和沿枯门岭东北侧(由 NW 向渐转为 NE 向)经密支那至曼德勒的弧形断裂带构成。另外,在雅江断裂带东段阿帕龙附近,有一支向南发生超过 90°的弧形转弯,由向 SEE 急转为向 SSW 延伸,沿帕特凯山—隆格朗山西侧经英帕尔至德莱入海,向南沿安德曼—尼科巴群岛西侧波状延伸,过尼科巴群岛复转为 NW 向,与引发印度尼西亚苏门答腊西北部 9.3 级大地震的断裂带相接,再向东南与爪哇海沟相连,控制发生了 2005—2007 年的一系列 7~8 级地震。可见,由西藏东部念青唐古拉山—高黎贡山弧形山系—缅甸西部近南北向山系—安德曼—尼科巴群岛—印度尼西亚西南部岛弧山系(苏门答腊岛和爪哇岛)组成的“歹”形造山带的构造活动是引发这一波 7~9 级强震的主要原因。青藏滇缅—印尼“歹”型构造所反映的陆壳表层运动方式是东侧地块向南、西侧地块向北的对扭运动及外旋顺时针的旋转扭动方式,与上述地震活动反映的运动方式基本一致。“歹”形构造尾部(南部)弧形较开阔,以苏门答腊岛为弧顶部位,前缘是洋陆边界断裂带。这里的海拔并不很高,而高差悬殊,苏门答腊岛最高峰为 3805 m,爪哇海沟深达 7620 m。主要地震发生在苏门答腊岛西南侧洋陆边界断裂带上,从班达亚齐至明古鲁的明打威海峡长约 1000 km 的地段内,东北盘造山带向西南方向逆冲上升,西南侧海底地盘明显下降。这里的地震大都伴有强度不等的海啸,地震活动向北蔓延至安德曼群岛,向东到爪哇岛以东,各又波及近千公里,活动断裂总长度超过 3000 km。“歹”型构造头部(北部)属青藏高原的一部分,弧形相当紧闭,弧形山系不乏海拔 6000~7000 m 高峰,地壳厚度显著增厚,可达 60 km 以上,向北推移的地块也是仰冲的,面对岩石弥漫的大陆壳,受到阻滞,转为沿念青唐古拉 NE 向走滑断裂带向东北方向运动,形成岩片堆叠掩覆、地壳增厚的剪切—推覆构造系统。看来,青藏滇缅—印尼“歹”型构造总体上是一个外旋顺时针旋转上升的构造系统。安德曼—尼科巴群岛西侧印度洋地(板)块的“下降—北移”可以理解为是前方西藏东部地块仰冲—推覆,后方印度洋地块拉伸—沉降的反映。当尾部受到向南西方向的

^① 李述靖,刘刚. 念青唐古拉走滑断裂带与藏东平行双剪切—推覆构造系统的遥感构造解析. 第十七届中国遥感大会学术论文, 2010.

强烈推挤, 沿 3000 km 断裂连续发生强震的情况下, 头部必然受到向北至东北方向大体相应的推挤, 或自身或传递给前方地块, 以弹性应变形式把能量贮存起来。这次的情况, 显然是部分能量传递给了岷山—巴颜喀拉地块。如前述, 在岷山—巴颜喀拉地块持续向 SEE 方向运动, 江南地块向 NWW 方向运动的推挤作用下, 龙门山造山构造带已经积累起很大的势能, 受此叠加作用影响, 终于触发了汶川 8.0 级强震 (见图 2)。

4 汶川震后地震活动情况与趋势的分析预测

循此思路, 对汶川地震发生后的区域构造活动方式与地震活动发展情况进行了分析: 岷山—巴颜喀拉地块是一个前宽后窄、后方强拉伸的双剪切—推覆构造岩片, 由于它的头部向东 (SEE 方向) 的瞬时滑移超过 10 m, 滑动岩体规模巨大, 而且 8 级地震释放的能量很大, 会使尾部岩体两侧受约束程度减弱, 两侧受挤压作用和剪切滑动的影响可能增强。据此推测其后效为: ①岷山—巴颜喀拉尾部应力状况失衡; ②沿西南边界楚玛尔河—鲜水河左行走滑断裂带, 西南侧的大凉山乌蒙山—可可西里构造岩片可能发生向东南方向的滑动, 导致前方地区活动性增强; ③结合具体介质条件 (松潘—甘孜三叠系褶皱带组成以砂板岩互层为主, 宏观上形状—体积的可变性较强) 和边界条件, 大凉山乌蒙山—可可西里后方强拉伸楔形剪切—推覆构造岩片西南侧 (即松潘—甘孜构造带西南侧), 构造活动将有所增强。因此, 近期 (1~2 年内) 这些地点很可能引发一些新的地震活动 (见图 3)。

汶川大地震后, 除在龙门山断裂带附近有一系列余震发生外, 地震活动确有向西和向南发展的趋势。2008 年 6 月 9 日至 18 日, 在唐古拉山北麓沱沱河一带 (温泉、雁石坪附近) 发生 5~6 级之间的震群, 共 6 次, 其中 10 日一天就发生了 3 次。它们发生在松潘—甘孜褶皱带西南侧, 受藏北地块向北推挤, 唐古拉山向北逆冲掩覆的 NWW 向断裂带附近。6 月 18 日, 在青海西部可可西里地区, 还发生了一次 5.4 级地震。该地震发生在岷山—巴颜喀拉后方强拉伸双剪切—推覆构造岩片的尾部南侧近东西向的走滑断裂带上, 该断裂向东南与楚玛尔河—鲜水河断裂带相连。2008 年 8 月 30 日, 大凉山乌蒙山—可可西里推覆构造岩片前方 (东南部) 川滇两省交界的拉蚌附近, 发生 6.1 级地震。2008 年 10 月西藏羊八井地震 (见下文) 发生后, 进一步认为云南楚雄一带还可能发生破坏性地震。事实上 2009 年初, 云南楚雄州姚安县的确发生了 6 级地震, 震源深度 10 km。拉蚌、姚安这两次地震, 都是大凉山乌蒙山—可可西里推覆构造岩片向 SE 方向滑动引发的。由于汶川地震使其东北边界楚玛尔河—鲜水河断裂出现牵制力减弱现象, 它西南边界唐古拉山北麓断裂带上震群活动导致的应力释放也产生了类似的效果, 加之羊八井地震使它受到来自西南方的推挤, 其头部次级岩片活动性增强, 从而在一些不稳定地点触发了较强的地震。历史上, 拉蚌 (1955 年)、姚安 (2003 年) 都曾发生过 6 级以上地震。2008 年 10 月 6 日, 西藏当雄羊八井地区发生 6.6 级地震, 地震发生在念青唐古拉山东南麓, NNE 向的羊八井断陷带内, 震源深度 8 km。震源机制分析表明: 活动断面高角度向 SEE 倾斜, 上盘右行斜下滑^①, 羊八井断陷是念青唐古拉山 NEE 向走滑断裂带东南盘的入字形张扭性分支构造, 综合显示: 地震是由念青唐古拉山 NEE 向断裂带左行走滑运动引发的。换句话说, 是念青唐古拉剪切—推覆构造活动引起的,

^① 有关地震的信息来自中国地震信息网 (<http://www.csi.ac.cn>) 和中国地震网专业地震信息网 (<http://www.ceic.ac.cn>), 地震发生日期为世界协调时。

这种活动加强了前缘弧形挤压性构造带弹性势能的积累，为 2010 年在其前缘构造带上引发玉树 7.1 级地震创造了条件。这些地震活动，分别与前文分析的认识比较吻合（见图 3）。

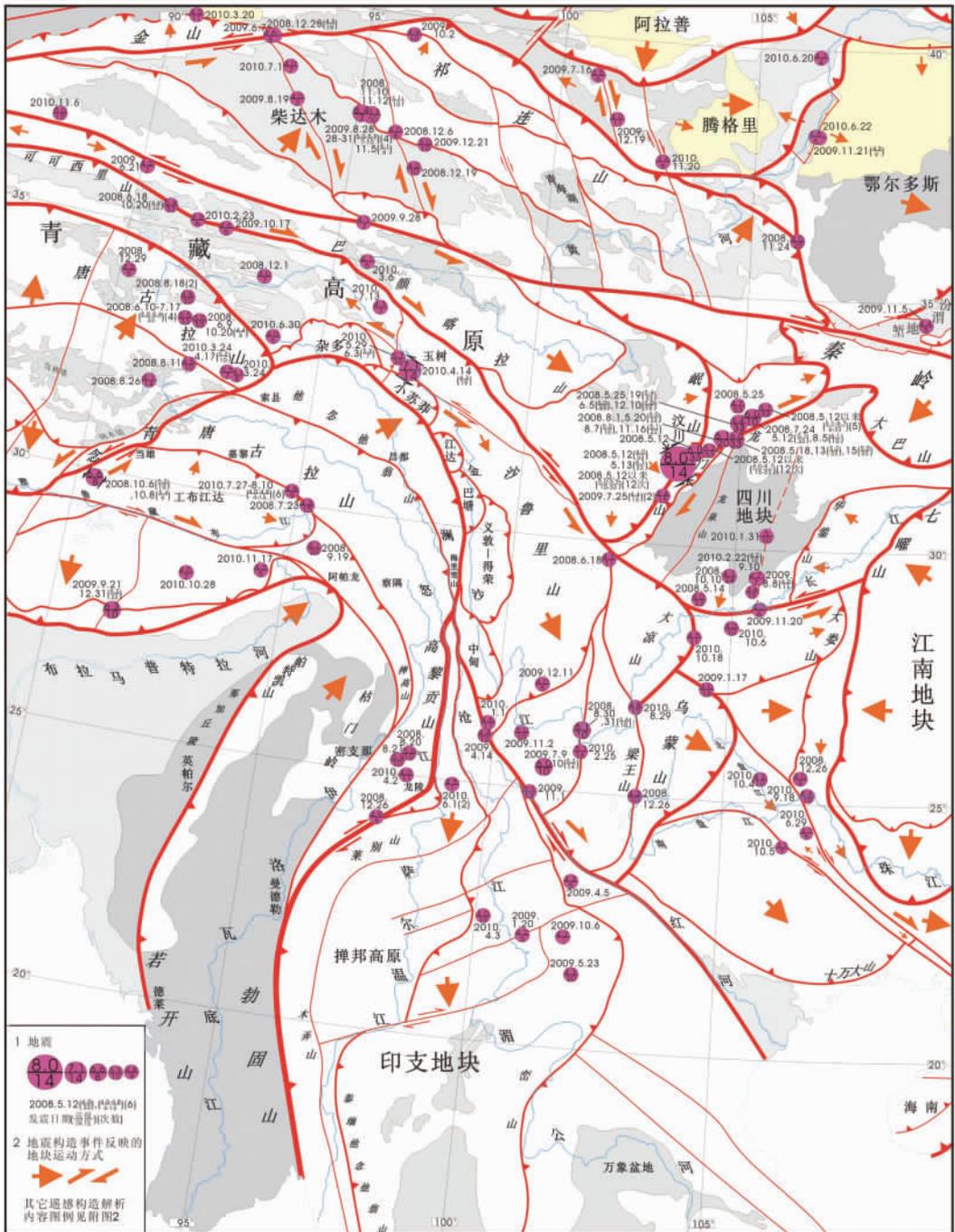


图 3 2008 年 5.12 汶川地震以来区域地震活动发展情况略图
(地震资料来自中国地震专业信息网, 汶川、玉树等强震区 4~4.9 级地震未标注)

Fig. 3 A sketch map showing the regional earthquake activities since the Wenchuan earthquake on May 12th, 2008

5 玉树地震—构造事件

2010 年 4 月 14 日凌晨, 四川玉树发生 7.1 级强破坏性地震, 震源深度 14 km, 宏观震中在县城西北。地震沿 NWW 向断裂带发生, 地震破裂带断续延伸近 50 km, 西北段有 23 km 较为连续。破裂带可分为 3 段: 西段和中段表现为左旋走滑, 东段是左旋走滑兼逆冲运动。最大左旋走滑位移量在郭央烟宋多附近, 达 2.4 m^[25-27]。震源机制解有两组可能的破裂面, 一组走向 109° (即 NWW), 滑动角 2°; 另一组 201°, 滑动角 73°。地震破裂自震源向 SEE 方向发展, 破裂带长度约 40 km, 故确定前者为地震断面, 与地表调查情况基本一致^[28-29] (见图 4)。

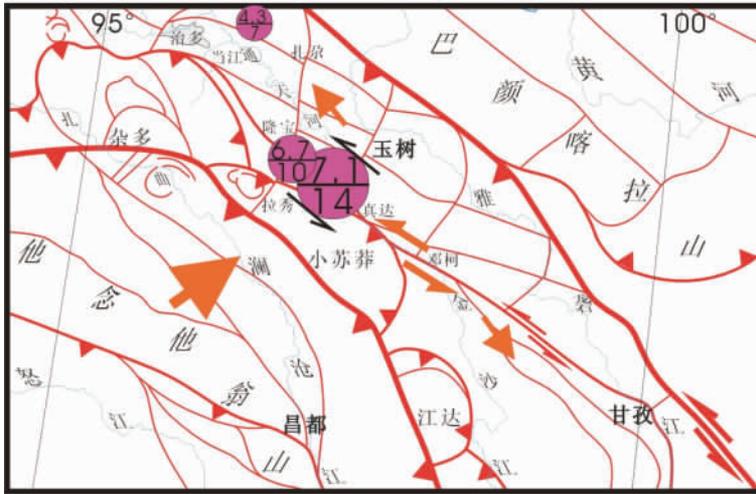


图 4 2010 年 4.14 青海玉树 7.1 级地震区域遥感构造解析图

Fig. 4 Remote sensing structures analysis in the area of M_s 8.0 Wenchuan earthquake on April 14th, 2010

遥感构造解析显示: 玉树地震发生在西藏东部念青唐古拉山—高黎贡山平行双剪切—推覆构造系统弧形构造带前方, “花缘状”推覆构造带中的小苏莽飞来峰式弧形推覆岩片前缘的北侧, 大凉山乌蒙山—可可西里后方强拉伸的双剪切—推覆构造岩片头尾之间的“蜂腰部”, 有多组断裂发育, 比较破碎, 是个构造薄弱环节 (见图 4)。NNE 向和 NWW 向两组断裂交叉分布, 前者平行成带, 东部呈向东南凸出的弧形分布, 兼具张扭与压扭特征; 后者大都比较平直, 以剪切为主, 部分呈波状延伸, 兼具挤压特性。玉树西侧 NNE 向扎尕—拉秀断层, 是大凉山乌蒙山—可可西里构造岩片头部与尾部的分界断裂, 具张扭特性。发震的 NWW 向断裂, 西起当江, 经隆宝、结古至真达南, 总体略呈反“S”形, 左行剪切为主兼具挤压特性。后者被前者切截。本次地震断裂活动, 西起扎尕—拉秀断裂, 东至通天河西岸 (真达南), 向东为小苏莽推覆岩片前缘弧形断裂所掩阻。玉树东南的邓柯—甘孜 NW 向断层, 平直延伸剪切特征明显, 西北端亦被小苏莽推覆岩片前缘弧形断裂掩阻, 并未与本次地震断裂直接相连。在小苏莽推覆岩片之下, 当江—真达南断裂可能与邓柯—甘孜断层相连。如前所述, 拉蚌、姚安地震是大凉山乌蒙山—可可西里构造岩片头部向东南滑动引发的, 其后效是加强了对“蜂腰部”的拉伸作用。西藏羊八井地震构造活动的后效是念青唐古拉山推覆构造前缘的小苏莽弧形推覆岩片对“蜂腰部”有向东北的推挤作用。正是它们的

共同作用引发了2010年4月玉树7.1级地震。结合震源机制分析和数值模拟结果,说明此次地震是一个“剪切—拉伸”构造作用过程,发震断裂左行剪切,岩块受NW—SE向拉伸,与其构造背景是吻合的^[30]。这里是大凉山乌蒙山—可可西里构造岩片拉伸形成的“蜂腰部位”,此次地震事件,除弹(脆)性破裂位移外,是否有“颈缩变形”发生,产生较强的塑性波,以致使地面破坏较为强烈,是需要研究的科学课题。从构造背景和变形地块岩石力学性质表像看,此次地震与1967年8月甘孜7.9级地震(受NW—SE向拉伸沿NWW向破裂面发生左行滑动)及1932年昌马7.6级地震(受近东西向拉伸沿NEE向破裂面发生左行滑动)的“剪切—拉伸”构造有相似之处,在震波对比研究中也许会有所收获。

6 四川地块内部的地震—构造活动

在此期间,还有一些地震活动引起我们的注意。特别是四川地块内部,川渝交界附近,2010年1月31日(遂宁—潼南间5级,深10 km)、2月22日(隆昌—荣昌间4.2级,深10 km)、4月13日(泸县—荣昌间3.4级,深15 km)接连发生较强的有感地震,9月10日隆昌—荣昌间又发生4.7地震,这是比较罕见的(见图1、图3)。遂宁—潼南间5级地震的震源机制分析表明,地震断面属逆断层型,走向NNE,受NW—SEE方向挤压作用产生,以逆冲为主略有水平错动。地震活动由北向南迁移,深度略有加深,排列方向为NNE向,与东西两侧的华蓥山及龙泉山断裂带大体平行。据四川盆地绵阳—重庆地震测深剖面资料^[11],四川盆地上地壳厚度在11~20 km之间,中地壳存在自西北向东南逐渐加厚的低速层,潼南附近低速层厚度可达5 km以上。绵阳—潼南间,自西北向东南,上地壳底面深度由20 km逐渐抬升至11 km左右,在潼南西北约6~8 km处,上地壳底部存在一个陡坎,东南侧陡降至15 km以下。2010年1月遂宁—潼南间的5级地震恰恰发生在上地壳底部陡坎附近,震源深度接近低速层。另据富顺—南部横向辅助爆破剖面,潼南低速层顶面约20 km,向SSW方向低速层逐渐抬升、变薄,至荣昌、大足附近,低速层顶面升至18 km,厚约3 km。2月22日隆昌—荣昌间发生的4.2级和4月13日泸县—荣昌间发生的3.4级地震均发生在其附近,后者震源深度接近低速层。8月8日在其东北不远处的重庆市璧山—江津间,又有3.3级地震发生,震源深度21 km,已达低速层。据地震测深资料判断,四川盆地结晶基底埋深在6~12 km之间。显然,上述这些地震均已深入结晶基底内部,多发生在上地壳底部靠近中地壳低速层的部位。换句话说,存在着触发陆壳表层沿着中地壳低速层发生水平滑动,进而对相邻地块产生动力影响的可能。

汶川地震及其余震使岷山地块向东南的逆掩推覆和沿龙门山构造带的右行滑动,对四川地块的挤压和对秦巴岩片向东的推挤都有所增强。如上所述,汶川地震前,曾有来自台湾海峡南部(1994年)和南投集集(1999年)地震活动对大陆地块挤压的影响。汶川地震同样对台湾地区地震活动有所影响,汶川震后,先后于花莲北和高雄南发生使大陆明显有感的地震活动。花莲北地震震感沿昆仑山—西安—基隆北断裂带传播,波及武汉;高雄南地震波沿巴士海峡—潮州断裂带向西北传导,使粤东、闽南部分地区有感。说明它们从东南方向继续向江南地块、武陵—雪峰造山带和四川地块及秦巴地块施压。从遥感构造解析结构看,秦巴地块同时受到岷山地块自西向东和武陵—雪峰造山带向西北的推挤,方向相背的伏牛弧与大巴弧显示出地块有NE—SW向的伸展趋向。四川地块本身处于龙门山造山带和武陵—雪峰造山带的双向挤压状态下,受大巴山弧向西南的施压,已有失稳破裂迹象,发生以逆冲为主

的 NNE 向断面, 引发川渝边境的一系列有感地震。从秦巴地块受挤压的合力方向分析, 伏牛弧对华北地块的推挤更加强烈, 尚处于能量积累阶段 (见图 1、图 2)。

7 东亚地区地震—构造活动态势

2010 年以来, 从安达曼群岛到印度尼西亚群岛, 仍然不断有 6~7 级强震发生 (15 次), 6 月 16 日一天, 新几内亚岛西北部 (歹型构造尾端) 就有 6 次强震, 先是两次 6.3 级, 接着是两次 7 级, 继而又是两次 6.3 级。最近, 构造活动还引发了苏门答腊岛的火山爆发, 迄今未止。这些无疑对歹型构造头部有重大影响, 面对岩石弥漫的大陆壳和复杂的大陆岩石介质条件和构造边界条件, 除部分能量可为塑性变形所吸收外, 其余将以弹性变形方式积累起来, 蓄势待发, 寻找突破构造闭锁的合适地点。总之, 歹型尾部, 长达数千公里构造带, 由一系列 7~9 级强震导致的地壳变动所积聚的能量远未耗尽。一段时间以来, 帕米尔—喜马拉雅山歹型构造头部地震活动也较强 (克什米尔和中国新疆乌恰都有 7 级以上地震发生); 两个歹型交接的藏北羌塘高原也不断有 6 级以上地震发生; 台湾地区和琉球海槽、海沟的强震活动频频, 有推 (前者) 有拉 (后者), 都对中国大陆壳产生影响。全球地壳运动是一个有机整体, 海地 7 级、智利 9 级强震, 冰岛火山爆发等等, 都反映出近期地壳活动比较活跃。人类认识有限, 目前尚无法对地震活动作出准确的预测分析和预报, 但也不应停止积极的探索。

8 对中国东部地区未来地震—构造活动趋势的分析与预测

地震是地壳运动的一种表现形式, 本质上是一种地壳表面作用过程, 大陆地震发生于陆壳与大气界面, 海底地震发生于洋壳与海水界面。每次地震都是一次地壳表层的构造破裂变形与位移, 一组时空相近而有成生联系的地震, 则代表着一定方式与方向的地壳运动, 因此, 每次或一组地震可视为一次“地震—构造事件”。

以下从汶川、玉树和台湾西部、印尼西南等地震及 1990 年以来的一系列“地震—构造事件”出发, 分析中国东部的地震活动趋势。

台湾西部地震构造活动使江南地块和四川地块向 NWW 方向运动。青藏滇缅—印尼旋转构造活动, 使藏东念青唐古拉—高黎贡山地块向 NE 方向运动, 挤压巴颜喀拉—岷山地块, 并使其转向 SEE 运动。二者于龙门山构造带相会, 岷山地块受四川地块阻挡, 沿龙门山断裂带发生逆掩推覆和右行走滑, 导致汶川地震发生。

岷山地块西南侧的大凉山乌蒙山—可可西里构造岩片沿鲜水河断裂带发生向东南方向的滑动, 后方“剪切—拉伸”引发玉树 7.1 级强震, 前方相继发生拉蚌、姚安等大于等于 6 级的地震, 而且仍在继续向东南方向发展, 滇东先后有 4~5 级地震发生, 已影响北盘江—右江 NW 向走滑构造带的稳定, 桂西、黔南发生 4 级以上地震, 活动趋势将波及两广地区。

岷山地块对秦巴地块形成自西向东的强大推挤, 同时受武陵—雪峰造山带自东南向西北挤压的影响, 秦巴地块将产生横向 (NE—SW 向) 伸展动力。与武陵—雪峰弧形构造带受挤压产生的向东北和向南的伸展压力一起, 将分别影响四川、华北和岭南诸地块。广西弧向南推挤岭南地块。大巴山弧向西南的推力, 已影响相对刚性的四川地块失稳, 在 NW—SE 向挤压下发生破裂, 整体也显南压态势。伏牛弧向东北方向的推动力可能更强, 与武陵—雪

峰造山带的伸展压力共同作用于华北地块,或分别作用于冀鲁豫平原和郯庐断裂带西盘。东海东南的琉球群岛及其两侧海沟与海槽的地震—构造活动均很活跃,对华北地块施加着向东南发生伸展运动的影响。

柴达木—祁连山地区地震多与 NNW 向右行走滑断裂活动有关,近两年已波及走廊(山丹)和六盘山(固原)地区,银川和汾渭等 NE 向断陷也先后发生 4 级以上地震。反映出广义“华北地块”西部的走廊地区“剪切—拉伸”,银川和汾渭拉张断陷,均显向 SEE 的运动。2010 年 10 月华北平原南部,周口与西华交界附近还发生了 4.7 级地震。

据此预测,未来 5~10 年内,上述构造活动发展趋势将继续,云南中东部小江断裂带两侧和河西走廊东部至庄浪河断裂带两侧老震区仍有发生破坏性地震可能。中国东部经济发达地域,有两个地区存在发生强破坏性地震的较大风险。一是两广及其沿海地带;二是华北平原中北部(冀鲁豫平原)和郯庐断裂带西侧(见图 2)。华北地区发生地震的强度可能更大,并将在一段时间内多次发生。

9 结语

几年来,应用遥感构造解析研究成果,将地震活动视为“地震—构造事件”,对中国地震活动进行分析思考和预测,一直在探索中进行。地震活动与“地震—构造事件”的分析与预测是互相印证的。当破坏性地震在预测的时间、地点发生时,可以说明对引发地震的构造分析是合理的。这些探索是中长期地震趋势分析和地震危险区预测的一部分,在地震预报研究中,是不可或缺的一环。我国地震预报研究实践证明,7 级以上强震的前兆异常至少波及直径 1000 km 的广大地域,前兆出现时限也可达数月以上,而临震时迅速向震中地区集中。开展地震短临预报研究,需要以中长期地震趋势分析为基础,迅速、及时、集中汇总大范围前兆异常信息,往往是实现成功预报的关键。本文一是涉及地区关系重大,二是对验证遥感构造解析研究与“地震—构造事件”认识是否符合实际至关重要;同时,希望引起地震工作者注意,适时开展短临预报研究,力求减少损失,共克科学难题。

参 考 文 献

- [1] 董树文,张岳桥,龙长兴,等. 四川汶川 M_s 8.0 地震地表破裂构造初步调查与发震背景分析 [J]. 地球学报, 2008, 29 (3): 392~396.
DONG Shu-wen, ZHANG Yue-qiao, LONG Chang-xing, et al. Surface rupture investigation of the Wenchuan M_s 8.0 earthquake on May 12th, 2008, west Sichuan, and analysis of its occurrence setting [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29 (3): 392~396.
- [2] 吴珍汉,张作辰. 四川汶川 M_s 8.0 地震的地表变形与同震位移 [J]. 地质通报, 2008, 27 (12): 2067~2075.
WU Zhen-han, ZHANG Zuo-chen. Seismic deformation and co-seismic displacement of the M_s 8.0 Wenchuan earthquake in Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (12): 2067~2075.
- [3] 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 汶川 M_s 8.0 地震地表破裂带及其发震构造 [J]. 地震地质, 2008, 30 (3): 597~629.
XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing, et al. The M_s 8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 2008, 30 (3): 597~629.
- [4] 李海兵,王宗秀,付小方,等. 2008 年 5 月 12 日汶川地震 (M_s 8.0) 地表破裂带的分布特征 [J]. 中国地质, 2008, 35 (5): 803~813.
LI Hai-bing, WANG Zong-xiu, FU Xiao-fang, et al. The surface rupture zone distribution of the Wenchuan earthquake (M_s 8.0) happened on May 12th, 2008 [J]. Geology in China, 2008, 35 (5): 803~813.

- [5] 李海兵, 付小方, Jér (o) me VANDER WOERD, 等. 汶川地震 (M_s 8.0) 地表破裂及其同震右旋斜向逆冲作用 [J]. 地质学报, 2008, 82 (12): 1623 ~ 1643.
LI Hai-bing, FU Xiao-fang, Jér (o) me VAN DER WOERD, et al. Co-seismic surface rupture and dextral-slip oblique thrusting of the M_s 8.0 Wenchuan earthquake [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (12): 1623 ~ 1643.
- [6] 李延兴, 张静华, 周伟, 等. 汶川 M_s 8.0 地震孕育发生的机制与动力学问题 [J]. 地球物理学报, 2009, 52 (2): 519 ~ 530.
LI Yan-xing, ZHANG Jing-hua, ZHOU Wei, et al. The mechanism and dynamics of the generation and occurrence for Wenchuan M_s 8.0 earthquake [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52 (2): 519 ~ 530.
- [7] 张勇, 冯万鹏, 许力生, 等. 2008 年汶川大地震的时空破裂过程 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38 (10): 1186 ~ 1194.
ZHANG Yong, FENG Wan-peng, XU Li-sheng, et al. Spatio-temporal rupture process of the 2008 great Wenchuan earthquake [J]. Science in China Series D: Geosciences, 2008, 38 (10): 1186 ~ 1194.
- [8] 王连捷, 崔军文, 周春景, 等. 汶川 5.12 地震发震机理的数值模拟 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 105 ~ 113.
WANG Lian-jie, CUI Jun-wen, ZHOU Chun-jing, et al. Numerical modeling for Wenchuan earthquake mechanism [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 105 ~ 113.
- [9] 程裕淇. 中国区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
CHENG Yu-qi. Introduction of China regional geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [10] 崔作舟, 陈纪平, 吴苓, 等. 花石峡—邵阳深部地壳的结构和构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
CUI Zuo-zhou, CHEN Ji-ping, WU Ling, et al. The deep crust structures and tectonics in Huashixia-Shaoyang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [11] 马杏垣. 中国岩石圈动力学地图集 [M]. 北京: 地震出版社, 1989.
MA Xing-yuan. Lithospheric dynamics atlas of China [M]. Beijing: Seismological Publishing House, 1989.
- [12] 王卫民, 赵连锋, 李娟, 等. 1999 年台湾集集地震震源破裂过程 [J]. 地球物理学报, 2005, 48 (1): 132 ~ 147.
WANG Wei-min, ZHAO Lian-feng, LI Juan, et al. Rupture process of the Chi-Chi (Taiwan) earthquake in 1999 [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48 (1): 132 ~ 147.
- [13] 陈杰, 陈宇坤, 丁国瑜, 等. 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震地表破裂带 [J]. 第四纪研究, 2003, 23 (6): 629 ~ 639.
CHEN Jie, CHEN Yu-kun, DING Guo-yu, et al. Surface rupture zones of the 2001 earthquake M_s 8.1 west of Kunlun Pass, northern Qinghai-Xizang Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23 (6): 629 ~ 639.
- [14] 李述靖, 郑达兴. 遥感构造解析与地壳表层结构构造型式 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (3): 279 ~ 286.
LI Shu-jing, ZHENG Da-xing. Structural interpretation of remote sensing data and structural patterns of the crust surface: One aspect of extended geomechanical research [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (3): 279 ~ 286.
- [15] 刘刚, 李述靖, 赵福岳, 等. 阿尔金—康西瓦剪切—推覆系统和帕米尔推覆构造的遥感解析 [J]. 地球学报, 2006, 27 (1): 25 ~ 29.
LIU Gang, LI Shu-jing, ZHAO Fu-yue, et al. A remote sensing analysis of Altun-Kangxiwa shear thrust system and Pamir nappe structure [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27 (1): 25 ~ 29.
- [16] 曹建玲, 石耀霖, 张怀, 等. 青藏高原 GPS 位移绕喜马拉雅东构造结顺时针旋转成因的数值模拟 [J]. 科学通报, 2009, 54 (2): 224 ~ 234.
CAO Jian-ling, SHI Yao-ling, ZHANG Huai, et al. [J]. Numerical simulation of GPS observed clockwise rotation around the eastern Himalayan syntax in the Tibetan Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54 (2): 224 ~ 234.
- [17] 易桂喜, 闻学泽, 王思维, 等. 由地震活动参数分析龙门山—岷山断裂带的现今活动习性与强震危险性 [J]. 中国地震, 2006, 22 (2): 117 ~ 125.
YI Gui-xi, WEN Xue-ze, WANG Si-wei, et al. Study on fault sliding behaviors and strong-earthquake risk of the Longmenshan-Minshan fault zones from current seismicity parameters [J]. Earthquake Research in China, 2006, 22 (2): 117 ~ 125.
- [18] 张永双, 雷伟志, 石菊松, 等. 四川 5.12 地震次生地质灾害的基本特征初析 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (2): 110 ~ 116.

- ZHANG Yong-shuang, LEI Wei-zhi, SHI Ju-song, et al. General characteristics of 5.12 earthquake induced geo-hazards in Sichuan [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (2): 110 ~ 116.
- [19] 张永双, 石菊松, 孙萍, 等. 汶川地震内外动力耦合及灾害实例 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (2): 131 ~ 141.
- ZHANG Yong-shuang, SHI Ju-song, SUN Ping, et al. Coupling between endogenic and exogenic geological processes in the Wenchuan earthquake and example analysis of geo-hazards [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (2): 131 ~ 141.
- [20] 谭成轩, 孙叶, 吴树仁, 等. “5.12”汶川 M_s 8.0 大地震后关于我国区域地壳稳定性评价的思考 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (2): 142 ~ 150.
- TAN Cheng-xuan, SUN Ye, WU Shu-ren, et al. A consideration on regional crustal stability assessment after Ms 8.0 Wenchuan strong earthquake in China [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (2): 142 ~ 150.
- [21] 彭华, 马秀敏, 姜景捷. 龙门山北端青川断层附近应力测量与断层稳定性 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (2): 114 ~ 130.
- PENG Hua, MA Xiu-min, JIANG Jing-jie. Stability and stress measurement near the Qingchuan fault in the northern Longmen Mountains [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (2): 114 ~ 130.
- [22] 王连捷, 周春景, 孙东生, 等. 汶川 5.12 地震引起的库仑应力变化及其对周边地震活动的影响 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (3): 193 ~ 200.
- WANG Lian-jie, ZHOU Chun-jing, SUN Dong-sheng, et al. Coulomb stress changes caused by Wenchuan earthquake and its influence on seismic activity in the adjacent area [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (3): 193 ~ 200.
- [23] 彭华, 马秀敏, 姜景捷. 山丹地应力监测站体应变仪的地震效应 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (2): 97 ~ 108.
- PENG Hua, MA Xiu-min, JIANG Jing-jie. Analysis of the volume strain data from the Shandan in-situ stress Monitoring Station [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (2): 97 ~ 108.
- [24] 姚鑫, 张永双. 基于差分干涉雷达的汶川地震同震形变特点 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (2): 151 ~ 161.
- YAO Xin, ZHANG Yong-shuang. Co-seismic Deformation of “5.12” Wenchuan earthquake based on D-INSAR [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (2): 151 ~ 161.
- [25] 马寅生, 张永双, 胡道功, 等. 玉树地震地表破裂与宏观震中 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (2): 115 ~ 128.
- MA Yin-sheng, ZHANG Yong-shuang, HU Dao-gong, et al. The surface ruptures and the macroscopical epicenter of Yushu M_s 7.1 earthquake [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (2): 115 ~ 128.
- [26] 张永双, 马寅生, 胡道功, 等. 玉树地震地表破裂调查与灾后重建避让选址研究 [J]. *地质学报*, 2010, 84 (5): 593 ~ 605.
- ZHANG Yong-shuang, MA Yin-sheng, HU Dao-gong, et al. Investigation and research on the surface rupture of the Yushu earthquake and reconstruction site selection [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (5): 593 ~ 605.
- [27] 陈立春, 王虎, 冉勇康, 等. 玉树 M_s 7.1 级地震地表破裂与历史大地震 [J]. *科学通报*, 2010, 55 (13): 1200 ~ 1205.
- CHEN Li-chun, WANG Hu, RAN Yong-kang, et al. The M_s 7.1 Yushu earthquake surface ruptures and historical earthquakes [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55 (13): 1200 ~ 1205.
- [28] 姚鑫, 张永双, 杨农, 等. 玉树地震地表变形 InSAR 观测及初步分析 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (2): 129 ~ 136.
- YAO Xin, ZHANG Yong-shuang, YANG Nong, et al. D-InSAR observation of earth surface deformation in the M_s 7.1 Yushu earthquake [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (2): 129 ~ 136.
- [29] 张勇, 许力生, 陈运泰. 2010 年青海玉树地震震源过程 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40 (7): 819 ~ 821.
- ZHANG Yong, XU Li-sheng, CHEN Yun-tai. Source process of the 2010 Yushu earthquake of Qinghai, China [J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2010, 40 (7): 819 ~ 821.
- [30] 王连捷, 崔军文, 王薇, 等. 青海玉树 M_s 7.1 级地震震源过程的数值模拟 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (2): 137 ~ 145.
- WANG Lian-jie, CUI Jun-wen, WANG Wei, et al. Numerical modeling for mechanism of Yushu M_s 7.1 earthquake [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (2): 137 ~ 145.

DEVELOPING LI SIGUANG ' S SCIENTIFIC THOUGHT ON EARTHQUAKE PREDICTION

LI Fang-quan

(*Institute of Crustal Dynamics , China Earthquake Administration , Beijing 100053 , China*)

Abstract: Some useful viewpoints on earthquake forecasting , based on Prof. Li Siguang ' s important speeches and instructions , are presented in this paper in combination with authors ' own experience and understanding. Those can be summarized in the four aspects as follows. The existence and change of earth stress has close relation with earthquake. Relatively safe areas may occur in active earthquake zones. Earthquake survey must be the basis of earthquake forecasting. Earthquake is predictable and the change process of earth stress is the key for earthquake forecasting. Professor Li Siguang ' s theory of "Safe Island" and the thought on earthquake forecast is of great significance both theoretically and realistically , which are the precious assets he left to us and worthy of further consideration , research and implementation so far.

Key words: earthquake; earthquake forecast; "Safe Island"; crustal stress surevy

(上接第 54 页)

REMOTE SENSING STRUCTURE ANALYSIS ON THE STRUCTURAL PROCESSES OF WENCHUAN AND YUSHU EARTHQUAKES: ANALYSIS OF AREA DANGEROUS OF EARTHQUAKE

LI Shu-jing

(*China University of Geosciences , Beijing 100083 , China*)

Abstract: The earthquake is an deformation and displace of enveloping rock in crust. A succession earthquake in the same belt represents some diastrophism (crustal movement). viz. an earthquake is a "Seismic-Structural Event". The dangerous of seismic area in China for the past 20 years were predicted tentatively on the basis of "Seismic-Structural Event" analysis by using remote sensing. The dangerous of seismic area in eastern china for coming 5-10 years are forecasted in this paper through iterative verification. A violent earthquake probably occurs in littoral areas of Guangdong-Guangxi and the middle part of north China plain area.

Key words: remote sensing structure analysis; seismic-structure event; Wenchuan earthquake; Yushu earthquake; Qinghai-Tibet-Yunnan-Myanmar-Indonesia reversed S-shaped tectonics