川滇地区主要活动断裂的活动特征及其近十年的地震活动性①

孙 尧, 吴中海, 安美建, 龙长兴
(中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081)

摘要:以近10几年的地震目录为基础,对川滇地区主要断裂带GSHAP地震危险性评估的预测结果与近十几年来的实际地震活动性进行了对比。结果表明,小江断裂以东的昭通地区以及滇西内弧带中段的哈巴和玉龙雪山东麓断裂带近年来的地震活动性较强,与GSHAP的评估相符;龙门山断裂带和怒江断裂以西的盈江地区近年的地震活动性较强,其活动性在GSHAP中被低估;而在GSHAP中确定的高危地区,如澜沧江断裂、小江断裂、红河断裂、鲜水河断裂周边区域,近十几年内的构造活动低于预期,如红河断裂与澜沧江断裂近年来的地震活动性较弱,而怒江断裂只在南端的保山等地区有较强的地震活动性。

关键词: 川滇地区; GSHAP; 构造活动; 地震; 地震危险性
中图分类号: P315.2275 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000-0844(2014)02-0320-11
DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2014.02.0320

Activity Characteristics of Primary Active Faults in Yunnan-Sichuan Area and their Seismic Activity in the Past

SUN Yao, WU Zhong-hai, AN Mei-jian, LONG Chang-xing
(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Vast active faults and their seismic activity in Yunnan-Sichuan area had been developed since the Cenozoic. Based on the earthquake catalogue and existing data of active faults, we compared the actual seismic activity of major fault zones in the past ten years in Yunnan-Sichuan area with the forecast results made by GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program), and then concluded the similarities and differences between them.

The comparison showed that seismic activities in Longmenshan fault zone were greatly underestimated in GSHAP, for most of the earthquakes along Longmenshan fault zone were aftershocks of the 2008 Wenchuan earthquake. Coulomb stress change caused by the mainshock of Wenchuan earthquake triggered the 2013 Lushan earthquake, and then reduced the seismic hazard of the southeastern segment of Xianshuihe fault. In the past decade, low seismic activities showed in outer arc belt of Yunnan-Sichuan area, mainly including Xianshuihe fault, Anninghe fault, Xiaojiang fault and other minor faults, whose seismic hazard were greatly overestimated in GSHAP. The similar situation appeared on Red River fault, Lancangjiang fault and Litang fault, part of the inner arc belt, which had the highest seismic hazard assessed by GSHAP. Otherwise, seismic activities of Yingjiang area in southwestern Yunnan started to enhance since 2008, while the seismic hazard in that area was neglected in GSHAP. Along Nujiang fault, only in the south segment and Baoshan area existed higher seismic activity, which was consistent with GSHAP.

① **收稿日期**:2013-04-17
作者简介:孙 尧,男(汉族),博士研究生,研究方向为地震学方向.

On the other side, eastern piedmont fault of the Haba－Yulong Snow Mountains, belonging to the middle part of the inner arc belt, showed higher seismic activities in recent years, which conformed to the assessment of GSHAP. From the Zhaotong area to the east of Xiaojiang fault showed high seismic activities, consistent with GSHAP as well.

The above comparisons were based on the earthquake catalogue in the past ten years, while the time horizon of GSHAP would be fifty years in future, and cycle of one devastating earthquake could be millennium, therefore large difference doesn't mean complete distortion of the estimates of GSHAP.

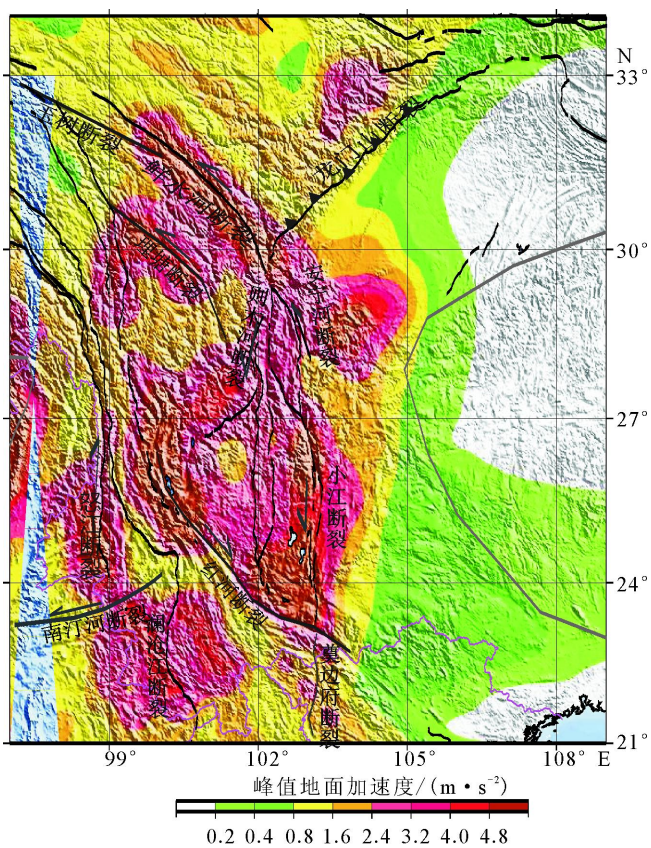
Key words: Yunnan－Sichuan area; GSHAP; tectonic activity; earthquake; seismic hazard

0　引言

在新生代(特别是晚第四纪)印度板块与欧亚板块持续碰撞的动力学背景下,川滇地区的地壳运动十分明显,发育了众多规模、类型和活动性等都各不相同的活动断裂,是我国现今最为显著的强震活动区。川滇地区的地震活动频度高、强度大,有记载以来发生过 32 次 7 级以上地震,其中 2 次超过 8 级。由于这些地震以浅源的走滑型地震为主,震源深度在 10～15 km[1],容易造成重大财产人员损失。因此对川滇地区地震活动性进行研究是非常重要的。

为向地震灾害频繁的发展中国家传授地震危险性评定技术,最大限度地减少地震所造成的生命损失及财产、社会经济的破坏,经国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)与国际地质科学联合会(IUGS)共同倡议,并由联合国教科文组织和国际科学联合会理事会(ICSU)资助,1992 年国际岩石圈计划(ILP)提出了“全球地震危险性评估(1992—1999)”项目(Global Seismic Hazard Assessment Program,以下简称 GSHAP)[2-4]。该项目首先将有历史记录以来的地震活动汇编成地震目录;然后利用来自地震目录、地震构造学、古地震学、地貌学、活断层成图、地壳形变的大地测量值、遥感及地球动力学模型等数据,建立描述地震时空分布的主震源模型;再结合地震造成破坏的直接测量结果和地面运动的仪器测量值,并考虑地震波在不同地质构造环境中的传播效应,建立起一个与地震震级和震中距有关的地面振动函数;最后对某一给定时期内发生地面振动的概率进行计算,绘制地震危险性图,并给出相关的不确定性范围。基于已有地震目录、地震构造和震源带、强震地面运动资料及地震危险性计算,GSHAP 提供了第一个定量的 21 世纪前 50 年内的全球地震危险性图,描述了可能会或不会被超出的地面运动水平。

GSHAP 计划中公布了川滇地区的地震危险性(图 1)[5]。图中四川盆地以西地区均被纳入峰值地面加速度超过 0.8 m/s^{2}的中等危险性区域,其中澜沧江断裂、小江断裂、红河断裂、鲜水河断裂等所经过的一些区域峰值地面加速度超过 4.8 m/s^2,为地震危险性很高的区域。



白色和绿色表示低危险性(0%～8%g);黄色和橙色表示中等危险性(8%～24%g);粉红色和深红色表示高危险性(24%～40%g);红色和褐色表示很高的危险性(≥40%g);黑线为主要活动断裂

图 1　川滇地区的 GSHAP 图(数据来自 http://gmo.gfz－potsdam.de/index.html)

Fig. 1　GSHAP map of the Yunnan－Sichuan area

自 GSHAP 项目于 1999 年结束至今的十多年时间里,川滇地区发生了一定数量的地震活动。对

预估的和实际发生的构造活动进行对比，不但有益于深入认识地震活动的规律性，也有益于更加深入地了解区域构造活动特征。本文将 GSHAP 预测结果与近 10 年来川滇地区实际地震活动强度进行对比，同时参照历史地震与现有活动断裂资料对川滇地区的构造活动性进行阐述。

1 区域构造背景

川滇地区活动构造体系在李四光的地质力学理论中曾被称为“歹字型”构造体系，在构造体系中可以看作由川滇外弧带和滇西内弧带两个断裂体系构成。

川滇地块外弧带的主体为玉树—鲜水河—小江弧形断裂系，是一级构造边界带，包括甘孜—玉树断裂、鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂、普雄断裂带、小江断裂带、会理—易门断裂、普威—红格断裂、曲江断裂、石屏—建水断裂、杨武断裂及奠边府断裂，断裂的运动性质多为左旋走滑活动，少数为右旋走滑，大多数的活动性被认为是中等或强烈。

甘孜—玉树断裂带是青藏高原内部巴颜喀拉块体的西南边界，走向为 NW，倾向以 NE 为主，倾角 70°～85°，断层的运动性质为左旋走滑活动[6-7]。该断裂过去 50 ka 内的平均左旋走滑速率为(12±2) mm/a[8]，不同的 GPS 监测数据显示现今的位错速率分别为 9～12 mm/a[9]、12 mm/a[10]和 14.4 mm/a[11]。沿此断裂在 1854 年、1866 年、1896 年发生过超过 7 级的大地震[8,12]。鲜水河断裂带位于青藏高原东部川滇菱形块体东北边界，巴颜喀拉地块南边界东段，走向 NW。第四纪以来断裂带北西段表现出偏张性的左旋走滑活动性，中段表现为偏压性的左旋走滑运动，南东段以张性的左旋走滑运动为主[13-15]。在此断裂附近共发生过 9 次 7 级以上的地震，最新一次为 1973 年的炉霍 7.9 级地震，造成了长达 90 km 的地表破裂以及最大 6 m 的断层面位移。小江断裂是川滇地块与华南地块的边界，总体走向为近 NS 向。其北段以拉张或张剪性破裂为主[16]，自东川向南分为 2 条支断裂，其间发育多条 NE 向或 NEE 向的次级断裂，形成网状的断裂带[17-18]，近期活动表现为左旋走滑为主的压扭性[19]。小江断裂带周边自 1500 年以来共发生过 6.5 级以上地震 15 次，其中 1833 年的嵩明 8.0 级地震造成的破裂长约 80 km，最大水平左旋错距达 5.8 m[20]。

除了以上 3 条主要构造边界外，川滇外弧带构造活动强烈的长断裂还包括安宁河断裂和则木河断裂。安宁河断裂的总体走向为近 NS 向，以左旋走滑活动为主，具有明显的分段活动特征，中段活动性最强，北段次之，南段活动性最弱[21]。在断裂附近的西昌地区历史记载过 1536 和 1850 年 2 次 7.5 级以上的地震，但最近 150 多年来，除 1952 年冕宁以南有一次 6.5 级地震外，没有更大地震的发生[22-23]。则木河断裂位于安宁河断裂和小江断裂带之间，走向为 NW，第四纪以来的运动性质以左旋走滑运动为主[24-25]。自公元 624 年以来西昌附近发生的 5 次超过 6 级的地震均与该断裂相关，其中有 2 次地震超过 7 级，而 1850 年西昌 7.5 级地震至今的 160 年间则未发生过超过 6 级的地震[26-27]。

滇西内弧带位于青藏高原东缘，从北面的理塘断裂一直延伸到南面的南汀河断裂，构造变形强烈，西临构造活动强烈的一级构造边界带实皆断裂系[28]。川滇地块内弧带包括理塘断裂、剑川断裂、程海—宾川断裂带、丽江—大理裂陷带、马登—巍山裂陷带、畹町断裂、南汀河断裂以及孟璐断裂，多为左旋走滑活动，少数为拉张性的正断层，构造活动性被认为是中等。

北部理塘断裂是川滇块体内部的一条与鲜水河断裂近于平行展布的全新世走滑活动断裂，作为松潘—甘孜造山带内部的造山带主体和西部碰撞结合带的边界；走向为 NW 向，运动性质为左旋走滑[29]，GPS 资料反演得到其现今的走滑运动速率为(4.4±1.3)mm/a[30-31]；1948 年理塘曾经发生过 7.3 级大地震。程海—宾川断裂带走向为近 NS 向，第四纪以来的运动性质表现为左旋走滑兼正断层，是次级构造单元丽江台缘褶皱带与川滇台背斜的分界线[32-33]；断裂带历史上 5 级以上地震发生频率较低，自 1500 年以来共发生过 7 次，其中 1515 年发生于永胜县的大地震超过 7 级，为有文字资料记载以来该断裂发生过的最大地震[33-34]，最近一次的强震为 2001 年 10 月发生在永胜县的 6.0 级地震[32,35]。丽江—大理裂陷带走向为 NW—NS—NW，历史震源机制解显示该断裂带的运动性质为正断层，表明该地区应力场为拉张性，断陷盆地发育主要受近 NS 向左行剪切—拉张活动控制[36]；该地区地震活动频繁，最近一次强震为 1996 年 2 月的 7.0 级地震，地震时断层活动以倾滑为主，伴有一定的左旋扭动，是玉龙雪山山前断裂活动的结果[37-38]。有研究通过断裂性质及地表观察等证据认为哈巴和玉龙雪山东麓断裂带为同一条断裂带[39-40]。畹町断裂位于中缅边

界,为次深断裂,在蚌冬以东为 NE 走向,以西为近 EW 走向,倾角 60°～80°。断裂早期主要受到压扭性应力,第四纪以来则表现为以左旋走滑活动为主[41-43];断裂晚第四纪活动性显著,然而现有的台网资料及微地震监测显示该断裂近期的地震活动性不强,而且历史上也没有强震记录。

除内外弧带两大断裂体系外,川滇地区的主要构造边界带还包括龙门山断裂带、红河断裂带、澜沧—景洪断裂带等。龙门山断裂带处于川滇地块外弧带的外围,总体走向 NE 向,是由一系列压性、压扭性断裂及褶皱组成的逆冲断裂带,是川滇地块及华南地块的边界断裂,第四纪至今一直在活动[44]。汶川地震前的历史资料记载中,龙门山断裂北段北川以北未发生过 6 级以上地震,断裂中南段曾发生过 4 次 6 级以上地震,1657 年发生于汶川的 6.5 级地震是 2008 年以前有记载以来该断裂发生过的最大地震[45]。2008 年汶川地震前的 GPS 监测显示,龙门山断裂带现代构造活动总体表现为以挤压作用为主,兼有走滑性质,由北向南逐渐由走滑挤压变化为伸展走滑,北段的运动速率大于南段[46]。2008 年以前的 GPS 监测显示龙门山断裂的整体运动速率为(1.67±2.07) mm/a,远小于鲜水河断裂的(8.67±2.65) mm/a[47-48]。红河断裂是华南与印支地块的分界线,现今的运动性质主要表现为右旋走滑运动[49-50];从历史地震活动性来看,沿着红河断裂地震集中部位分布在红河断裂带的北段大理一带,历史上有多次 6 级以上的地震发生,而南段则没有 6 级以上地震发生的记录[51]。澜沧—景洪断裂带走向为 NW,断裂的运动性质现今以右旋走滑活动为主[52];1988 年 11 月曾发生过双主震的澜沧—耿马地震,震级分别为 7.6 级和 7.2 级,并有多次超过 6 级的余震发生[53]。

2　川滇地区主要活动断裂近 10 多年来的地震活动

为了对比 GSHAP 所预计的最大地面峰值加速度,这里分别将 1970 年有台网记录以来及 1999 年前后川滇地区的地震(数据来自中国台网目录)按照震级大小不同及影响的范围不同制作了最大震级的 heatmap 图(图 2(a)～(c)),将 2009 年中国地震台网统一地震目录建立以来的地震数据用同样的方法制成最大震级的 heatmap 图(图 2(d)),分区块对川滇地区主要断裂带的地震活动分别与 GSHAP 的预测进行比较。

2.1　龙门山断裂带

GSHAP 预测的沿龙门山断裂的地震动峰值地面加速度在 0.8～4.0 m/s^2 之间,且大部分区域都在 2.4 m/s^2 以下,属于中等危险区域,小部分为高危险性(图 1),整体的危险性评级弱于鲜水河断裂、小江断裂等,因此这里是 1999 年之前 GSHAP 最主要的忽视区域。从 1999 年以后的 heatmap 图(图 2(c))可以看出,从雅安一直延伸到四川与陕西、甘肃交界处整个龙门山断裂带是川滇地区在这段时间地震活动强度最大的条带状区域。这里地震密度大,5 级以上强震多,震源机制以逆冲为主,有少许走滑机制(见图 3),表明龙门山断裂带所处区域构造应力场的最大主应力方向为 NW 向。1999 年以后地震活动强度(图 2(c))比 1970—1999 年间龙门山断裂带的地震活动性(图 2(b))明显增强且地震多分布在断裂东南侧,断裂西北的大地震很少,直至四川北部与甘肃交界区域才有高地震密度区域。

1999 年以后沿着龙门山断裂的这个高地震密度条带基本上都是由 2008 年汶川地震及其余震组成。根据地震触发理论,强震会引起附近断层的库仑应力变化,从而促进或抑制未来地震的发生[54-55]。因此 2008 年汶川地震发生后所引起的断层面错动影响了周围断裂的地震活动。笔者使用 Toda 等开发的 Coulomb3.3 软件[56]对 M_W7.9 主震所引起的库仑应力变化进行简单的模拟运算,汶川地震的震源机制来源于 Global CMT。对于龙门山断裂带,在 10 km 深度得到的库仑应力变化图(图 4(a))显示 2013 年芦山地震的震中也在汶川地震所引起的库仑应力增加的区域内,这与前人计算结果[57-59]一致。同样的,对于 NW 走向以走滑为主的鲜水河断裂,从 10 km 深度得到的库仑应力变化图(图 4(b))可以看出断裂的东南段(大致为道孚—康定段)在库仑应力增加的范围内,而中段和北西段则在库仑应力减小的区域内。从理论上来说汶川地震的发生增加了鲜水河断裂东南段未来发生强震的可能性,这与邵志刚等[58]的结论基本相符,而鲜水河断裂中断及西北段发生强震的可能性会降低。

2.2　川滇外弧带

与龙门山断裂的地震危险性被低估相对的是,近十多年里从玉树断裂至鲜水河断裂和小江断裂的活动并未如预测的那么强。GSHAP 图里沿着玉树—鲜水河—小江断裂系峰值地面加速度值都在 4.0 m/s^2 以上,大部分高达 4.8 m/s^2 以上,显示出很高的地震危险性;断裂系两侧数十公里的区域峰值

地面加速度值也都超过了 2.4 m/s^2，为高危险性。1999 年以前的地震活动(图 2(b))显示沿着玉树—鲜水河—小江断裂系存在大范围的高地震密度区，大地震的震源机制(图 3)多为左旋走滑；而 1999 年以后沿此断裂系的地震活动(图 2(c))比较少，仅在 3 个小区域内有 5 级以上的地震发生，分别是炉霍、

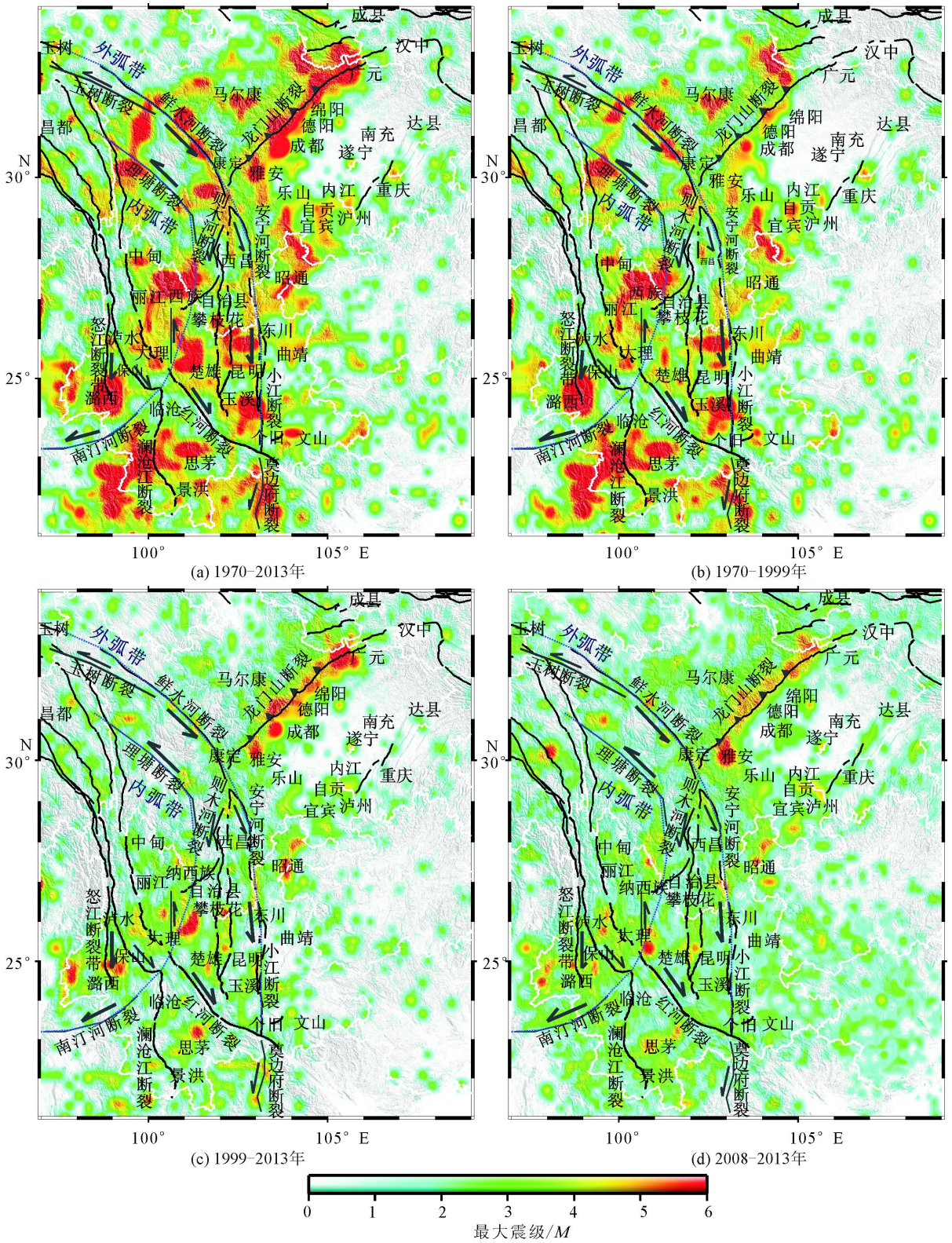


图 2 川滇地区最大震级的 heatmap 图

Fig. 2 Heatmap of maximum earthquake magnitude in Yunnan—Sichuan area

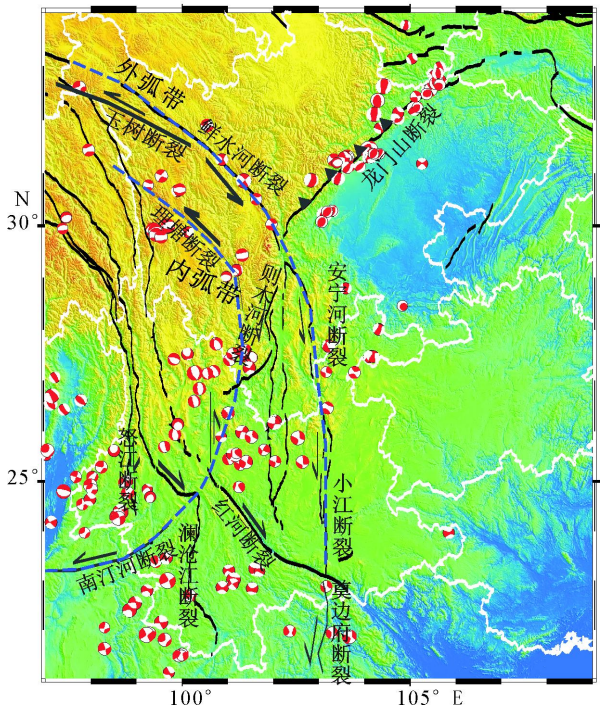


图 3　川滇地区 1970 年以来的强震震源机制

Fig. 3　Focal mechanisms of strong earthquakes since 1970 in Yunnan—Sichuan aera

道孚与昭通市的西南地区,其余区域的地震震级都在 3 级以内,而像西昌、康定等历史上有多次大地震发生的地区 1970 年至今还未发生过 6 级以上的强震。因此近十年来川滇外弧带的地震活动性明显减弱,并未显示出与 GSHAP 相符的高地震活动性。

2.3　川滇内弧带

1999 年以后的 Heatmap 图显示在大理、楚雄之间及大理西北方向的哈巴和玉龙雪山东麓断裂带分别有 2 个高地震密度区(图 2(d)),丽江以北的川滇交界处也有一个高地震密度区。在 1999 年以前的 heatmap 图中这些区域也是高地震活动性地区,GSHAP 图中同样把这些地区的地震危险性评级设为高或很高。川滇内弧带北段的理塘断裂在 1999 年以前的地震密度较高,1999 年以后则地震活动性明显降低,低于 GSHAP 对该断裂带地震危险性评价高或很高的预期;而南段的畹町断裂无论是 GSHAP 的预期还是近年来的实际地震活动性都很低。值得关注的是 1970 年以来相对于周边的高地震密度,宾川地区则是表现出低地震活动性的空区。

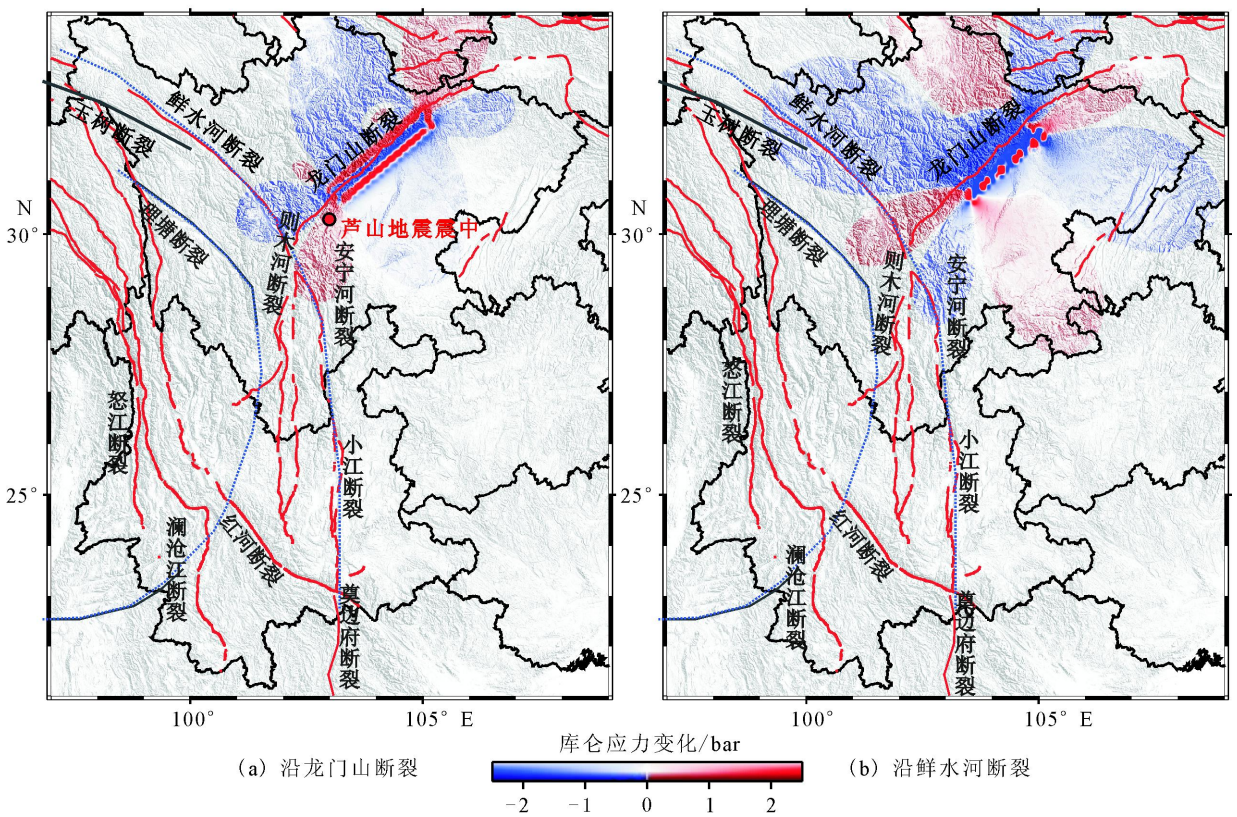


图 4　2008 年汶川地震在沿龙门山断裂(a)和沿鲜水河断裂(b)引起的库仑应力变化

Fig. 4　Coulomb stress change caused by 2008 Wenchuan earthquake. (a) indicates change along Longmenshan fault zone; (b) indicates change along Xianshuihe fault

2.4 其余地块及断裂带

GSHAP 的评估里将红河断裂途经的大理一带列为地震危险性很高的区域，而在东南段与小江断裂所夹的东北盘评价为地震危险性很高，西南盘的地震危险性为中等。1970 年至 1999 年的地震密度 heatmap 图显示的地震密度分布与 GSHAP 的评估基本相符，只是覆盖面积略小；而 1999 年以后沿着红河断裂的地震密度明显下降，只有大理的西北方向有少量 4 级以上的地震分布。

澜沧—景洪断裂所经区域在 GSHAP 中的地震危险性评价为高，局部为很高，而 1999 年以后的地震密度 heatmap 图则显示出沿着断裂走向的地震活动性远低于预期。值得注意的是澜沧—景洪断裂与多条次级活动断裂经过的景洪地区，构造运动强烈，历史上为 6 级以上地震多发区，而 1970 年以来的 heatmap 图则显示地震密度低于周边（见图 2(a)）。此外处于 GSHAP 评价高危险性区域边缘的思茅地区则有超过 5 级的地震发生。

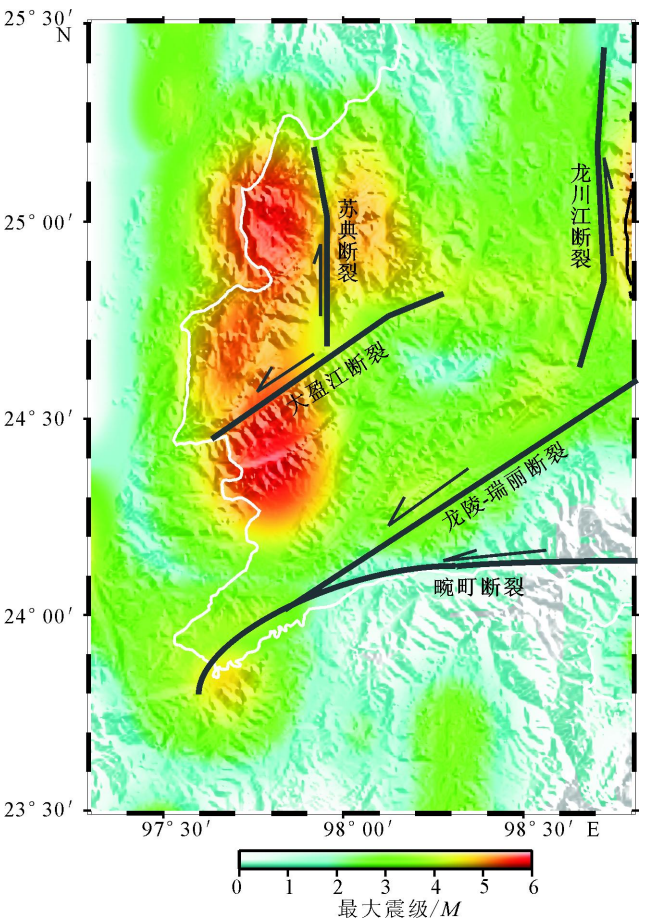


图 5 滇西南 1999 年以来的最大震级 heatmap 图

Fig. 5 Heatmap of maximum earthquake magnitudes in southwestenYunnan since 1999

在小江断裂以东的曲靖—昭通一带存在高地震密度带，并分别向四川、贵州境内延伸，这个地区 GSHAP 给出的峰值地面加速度值为 2.4 m/s^2 以上，地震危险性评价为高，局部为很高。该地区近十多年来的实际地震活动性略微低于 GSHAP 给出的评价，不过 2012 年 9 月 7 日的彝良 5.7 级地震在一定程度上与 GSHAP 的预测相符。

滇西内弧带以西的巴塘断裂走向为 NNE，现今的运动性质为右旋走滑活动，第四纪以来具有明显的活动性[29]。GSHAP 的评估里该区的峰值地面加速度值在 3.2 m/s^2 以上，属于高危险性区域，而 1999 年以后该地区的实际地震活动性则低于预期。

龙川江断裂为近 NS 走向，南段主要表现为左旋走滑的性质，其第四纪以来活动性较弱[60]；龙陵—瑞丽断裂走向 NE，主干断裂为左旋走滑构造活动[61]。1976 年在龙川江断裂与瑞丽—龙陵断裂之间的龙陵地区发生过 7.4 级地震[62]。GSHAP 给出的地震危险性评估里龙陵及周边区域的峰值地面加速度值在 3.2 m/s^2 以上，属于地震危险性高或很高的区域，形成一个长轴近南北的椭圆形区域，而 1999 年以来的 heatmap 图则显示该地区的地震分布向近 EW 向延伸。

大盈江断裂的走向为 NE，断裂倾角较陡，倾向以 NW 为主，第四纪以来活动性表现为左旋走滑活动[63-64]；苏典断裂为近 NS 走向，活动性质为右旋走滑，与大盈江断裂交汇于盈江盆地。在 1999 年以前的地震危险性评价里盈江盆地及周边的峰值地面加速度值在 0.8～2.4 m/s^2 之间，为中等危险性区域。而自 2008 年以来，在大盈江断裂与苏典断裂交汇区域多次发生 5 级以上强震，并有大量的前震及余震发生，2008 年 8 月 21 日的 6.1 级地震为有记录以来该地区发生过的最大地震。盈江地区在 heatmap 图中显示为高地震密度区，震源机制多为走滑机制，该地区的高地震活动性是大盈江断裂及苏典断裂近年来持续活动的结果[65-68]。虽然 1970－1999 年间该地区没有 5 级以上地震发生，地震活动性在川滇地区并不突出（图 2(b)），但 1999 年以后的地震密度 heatmap 图显示近年来盈江地区为高地震活动性（图 2(c)）。

3 讨论

从近十多年内川滇地区的地震活动 heatmap 图中可以看出，很多在地质上被认为断裂活动性中等或强烈的活动断裂，近些年的地震活动性并不强

烈,原因可能有两种:

(1) 活动断裂带上近几十或一两百年内已经发生过大地震,因而应力得到了释放,由于大地震的复发周期长达数百年甚至上千年,因此在大地震发生之后断裂带上的地震活动可能会相对减弱。例如1923 年 3 月 24 日鲜水河断裂带上的炉霍、道孚一带发生过 7.25 级地震,1948 年理塘断裂曾经发生过 7.3 级大地震,因而近十多年鲜水河断裂带、理塘断裂等地震活动强度较低。

(2) 大地震发生前的地震空区。地震空区的概念最早由 Mogi 提出,并定义了两类"空区"[69]。一种主要指由一条分段性明显的活动构造带,或多条在动力学或运动学上密切联系的断裂所构成的大型活动断裂带或构造带,其大地震活动的趋势是将地震破裂填满整个断裂带或构造带。而地震空区是指断裂带上在最近一次大地震循环过程中尚未被地震破裂覆盖的段落。因此一条断裂带上的地震空区即为该断裂带上未来大地震危险性最高的地段。另一类空区指一条地震带或活动断裂带上在发生大地震前周围被众多中小地震围空的现象,即地震围空区。也就是针对特定区域,特别是处于同一构造体系中的活动构造带中,被一段时期内已发生的中—强地震活动所围限的"相对平静区段"。围空区内的活动断裂带或构造带是未来发生强震活动危险性最大的地段。例如:位于川滇内弧带南端的畹町断裂第四纪活动性显著,而历史上却没有强震记录,对比内弧带的其他段落曾多次发生 7.0 级及其以上大地震,因此畹町断裂带可能属于内弧带中的地震空区,有较高的强震危险性;大理、勐海等地近年来地震活动性较低,而其周边区域近年来都有强震发生,处于地震围空区,因而也有较大的发生强震可能性。

4　结论

以近 10 多年的地震目录为基础,对比了川滇地区主要断裂带的 GSHAP 地震危险性评估的预期与近十多年来的实际地震活动性,总结了两者的相同点和不同点。

首先,小江断裂以东的昭通地区以及红河断裂以北的哈巴和玉龙雪山东麓断裂带近年来的地震活动性较强,这与 GSHAP 的评估相符。

其次,近些年来地震活动性较强区域在 GSHAP 危险性评估中被低估。2008 年汶川地震及其余震的发生标志着龙门山断裂带为川滇地区中地震活动最强地区,而利用 1999 年以前资料进行的 GSHAP 地震危险性评估将龙门山断裂带大体上归于中等地震危险性地区。怒江断裂以西的盈江地区近年来的地震活动性也较强,而 GSHAP 只将该地区的地震危险性评价为中等。

最后,GSHAP 中认为澜沧江断裂、小江断裂、红河断裂、鲜水河断裂是区域高地震危险性的重点地带,但在近十年的时间内其地震活动性并不像预测的那么高。其中鲜水河断裂带及小江断裂带是 GSHAP 所强调的最高危险区,而近十年来该区域的地震活动并不十分活跃。鉴于该区域进行的 GPS 观测发现该区域运动速率较高,可能该断裂现在处于不活动期,也可能该断裂自身以蠕变滑动为主而不易集聚发生大地震的能量。而通过库仑应力计算得到的鲜水河断裂东南端道孚—康定段受 2008 年汶川地震影响库仑应力增加,可能在未来若干年存在发生强震的可能性。红河断裂与澜沧江断裂近年来的地震活动性较弱,而怒江断裂只在南端的保山等地区有较强的地震活动性。

以上对比结果是基于近十年的地震目录得出的,但由于 GSHAP 的评估时间范围为未来 50 年,而一个灾害性大地震的活动周期可能为近千年,因此以上得到的两者相差较大的地方并不意味着 GSHAP 预测完全失真。

参考文献(References)

[1] Zhou H, Liu H L, Kanamori H. Source Processes of Large Earthquakes along the Xianshuihe Fault in Southwestern China[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1983, 73(2): 537-551.

[2] Giardini D, Basham P. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)[R]. 1993.

[3] Giardini D, Grünthal G, Shedlock K M, et al. The GSHAP Global Seismic Hazard Map[J]. Annali Di Geofisica, 1999, 42(6): 1225-1230.

[4] Shedlock K M, Giardini D, GriJnthal G, et al. The GSHAP Global Seismic Hazard map[J]. Seismological Research Letters, 2000, 71(6): 679-686.

[5] Zhang P, Yang Z X, K Gupta H, et al. Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) in Continental Asia[J]. Annali Di Geofisica, 1999, 42(6): 1167-1190.

[6] 王阎昭,王敏,沈正康,等. 2010 年玉树地震震前甘孜—玉树断裂形变场分析[J]. 地震地质, 2011, 33(3): 525-532.
WANG Yan-zhao, WANG Min, SHEN Zheng-kang, et al. Inter-seismic Deformation Field of the Ganzi－Yushu Fault before the 2010 Yushu Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(3): 525-532. (in Chinese)

[7] 李闽峰,邢成起,蔡长星,等. 玉树断裂活动性研究[J]. 地震地

质,1995,17(3):218-224.
LI Min-feng, XING Cheng-qi, CAI Chang-xing, et al. Research on Activity of Yushu Fault [J]. Seismology and Geology,1995,17(3):218-224. (in Chinese)

[8] 闻学泽,徐锡伟,郑荣章,等. 甘孜—玉树断裂的平均滑动速率与近代大地震破裂[J]. 中国科学:D辑,2003,33(增刊):199-208.
WEN Xue-ze, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang, et al. Average Slip Velocity and Recent Earthquake Rupture on Ganzi—Yushu Fault Zone[J]. Science in China: Series D, 2003, 33 (Supp.):199-208. (in Chinese)

[9] Meade B J. Present-day Kinematics at the India—Asia Collision Zone[J]. Geology, 2007, 35(1):81.

[10] Thatcher W. Microplate Model for the Present-day Deformation of Tibet[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2007,112: B01401.

[11] Gan W, Zhang P, Shen Z K, et al. Present-day Crustal Motion within the Tibetan Plateau Inferred from GPS Measurements[J]. Journal of Geophysical Research,2007,112:B08406.

[12] Li A, Shi F, Yang X, et al. Recurrence of Paleoearthquakes on the Southeastern Segment of the Ganzi—Yushu Fault, Central Tibetan Plateau[J]. Science China: Earth Sciences, 2012,56(2):165-172.

[13] Xu X, Wen X, Zheng R, et al. Pattern of Latest Tectonic Motion and its Dynamics for Active Blocks in Sichuan—Yunnan Region, China[J]. Science in China: Series D, 2003, 46 (2):210-226.

[14] Deng Q, Zhang P, Ran Y, et al. Basic Characteristics of Active Tectonics of China [J]. Science in China: Series D, 2003, 46(4): 356—372.

[15] 杨永林,苏琴. 鲜水河断裂带现今活动特征研究[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(6):22-27.
YANG Yong-lin, SU Qin. On Present Activity Characteristics of Xianshuihe Fault Zone[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2007,27(6): 22-27. (in Chinese)

[16] 彭万里,周瑞琦. 依据三角测量资料分析云南小江断裂北段的应力场[J]. 地球物理学报,1978,21(4):320-324.
PENG Wan-li, ZHOU Rui-qi. Analysis of the Stress Field on the Northern Portion of the Hsiaokiang Fault, Yunnan[J]. Acta Geophysica Sinica,1978,21(4): 320-324. (in Chinese)

[17] 唐文清,刘宇平,陈智梁,等. 云南小江断裂中南段现今活动特征[J]. 沉积与特提斯地质,2006,26(2):21-24.
TANG Wen-qing, LIU Yu-ping, CHEN Zhi-liang, et al. Modern Activity in the Southern and Central Parts of the Xiaojiang Fault in Yunnan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology,2006,26(2):21-24. (in Chinese)

[18] 沈军,汪一鹏,宋方敏,等. 小江断裂带中段的北东向断裂与断块结构[J]. 地震地质,1997,19(3):203-210.
SHEN Jun, WANG Yi-peng, SONG Fang-min, et al. The NE-trending Faults and Block Structure in the Central Section of the Xiaojiang Fault Zone[J]. Seismology and Geology, 1997,19(3):203-210. (in Chinese)

[19] 王二七,Burchfiel B C,Rogden R H,等. 滇中小江走滑剪切带晚新生代挤压变形研究[J]. 地质科学,1995,30(3):209-219.
WANG Er-qi, Burchfiel B C, Rogden R H, et al. Late Cenozoic Compressional Deformations and Their Origin along the Xiaojiang Strike-slip Fault System in Central Yunnan China [J]. Scientia Geologica Sinica,1995,30(3):209-219. (in Chinese)

[20] 钱晓东,秦嘉政. 小江断裂带及周边地区强震危险性分析[J]. 地震研究,2008,31(4):354-361.
QIAN Xiao-dong, QIN Jia-zheng. Strong Earthquake Risk Analysis of Xiaojiang Fault zone and Surrounding Areas[J]. Journal of Seismological Research,2008,31(4):354-361. (in Chinese)

[21] 唐荣昌,黄祖智,文德华,等. 试论安宁河断裂带新活动的分段性与地震活动[J]. 地震研究,1989,12(4):337-347.
TANG Rong-chang, HUANG Zu-zhi, WEN De-hua, et al. A Tentative Study on the Segmentation of the Recent Motions along the Anning River and its Relationship with Seismicity [J]. Journal of Seismological Research,1989,12(4):337-347. (in Chinese)

[22] Ran Y, Chen L, Cheng J, et al. Late Quaternary Surface Deformation and Rupture Behavior of Strong Earthquake on the Segment North of Mianning of the Anninghe Fault[J]. Science in China:Series D,2008, 51(9):1224-1237.

[23] 冉勇康,程建武,宫会玲,等. 安宁河断裂紫马跨一带晚第四纪地貌变形与断层位移速率[J]. 地震地质,2008,30(1):86-98.
RAN Yong-kang, CHENG Jian-wu, GONG Hui-ling, et al. Late Quaternary Geomorphic Deformation and Displacement Rates of the Anninghe Fault around Zimakua[J]. Seismology and Geology,2008,30(1):86-98. (in Chinese)

[24] Wang H, Ran Y, Li Y, et al. Paleoseismic Ruptures and Evolution of a Small Triangular Pull-apart Basin on the Zemuhe Fault [J]. Science in China:Earth Sciences,2012,56(3):504-512.

[25] 闻学泽. 则木河断裂的第四纪构造活动模式[J]. 地震研究,1983,6(1):41-50.
WEN Xue-ze. Model of Activity of the Quaternary Period of Zemu River Fault [J]. Journal of Seismological Research, 1983,6(1): 41-50. (in Chinese)

[26] 黄祖智,唐荣昌. 则木河断裂与地震[J]. 地震研究,1983,6(2):167-177.
HUANG Zu-zhi, TANG Rong-chang. The Zemuhe Fault and Earthquakes[J]. Journal of Seismological Research, 1983, 6 (2):167-177. (in Chinese)

[27] 唐荣昌,黄祖智,伍先国,等. 则木河断裂全新世以来的新活动与地震[J]. 中国地震,1986,2(4):82-88.
TANG Rong-chang, HUANG Zu-zhi, WU Xian-guo, et al. The New Activities and Earthquakes of the Zemuhe Fault since the Holocene[J]. Earthquake Research in China,1986,2 (4):82-88. (in Chinese)

[28] Nielsen C, Chamot-Rooke N, Rangin C. From Partial to Full Strain Partitioning along the Indo—Burmese Hyper-oblique Subduction[J]. Marine Geology,2004,209(1-4): 303-327.

[29] 周荣军,陈国星,李勇,等. 四川西部理塘—巴塘地区的活动

断裂与 1989 年巴塘 6.7 级震群发震构造研究[J]. 地震地质,2005,27(1):31-43.
ZHOU Rong-jun, CHEN Guo-xing, LI Yong, et al. Research on Active Faults in Litang－Batang Region, Western Sichuan Province, and the Seismogenic Structures of the 1989 Batang *M*6.7 Earthquake Swarm[J]. Seismology and Geology,2005,27(1):31-43. (in Chinese)

[30] Xu X, Wen X, Yu G, et al. Average Slip Rate, Earthquake Rupturing Segmentation and Recurrence behavior on the Litang Fault Zone, Western Sichuan Province, China[J]. Science in China:Series D,2005,48(8):1183.

[31] Wang Y, Wang E, Shen Z, et al. GPS-constrained Inversion of Present-day Slip Rates along Major Faults of the Sichuan－Yunnan Region, China[J]. Science in China: Series D,2008,51(9):1267-1283.

[32] 周光全,王晋南,王绍晋,等.永胜 6.0 级地震的地质构造背景及发震构造[J].地震研究,2002,25(4):356-361.
ZHOU Guang-quan, WANG Jin-nan, WANG Shao-jin, et al. The Seismological Tectonic Background and Seismogenic Structure of the *M*6.0 Yongsheng Earthquake[J]. Journal of Seismological Research,2002,25(4):356-361. (in Chinese)

[33] 李光容,金德山.程海断裂带挽近期活动性研究[J]. 云南地质,1990,9(1):1-24.
LI Guang-rong, JIN De-shan. Neoid Activity on the Chenghai Fracture[J]. Yunnan Geology,1990,9(1):1-24. (in Chinese)

[34] 虢顺民,向宏发,张靖,等.1515 年云南永胜地震形变带和震级讨论[J].地震研究,1988,11(2):153-162.
GUO Shun-min, XIANG Hong-fa, ZHANG Jing, et al. Discussion on the Deformation Band and Magnitude of the 1515 Yongsheng Earthquake in Yunnan Province[J]. Journal of Seismological Research,1988,11(2):153-162. (in Chinese)

[35] 俞维贤,张建国,周光全,等.2001 年永胜 6 级地震的地表破裂与程海断裂[J].地震研究,2005,28(2):125-128.
YU Wei-xian, ZHANG Jian-guo, ZHOU Guang-quan, et al. Surface Rupture of the 2001 Yongsheng *M*6 Earthquake and Chenghai Fault[J]. Journal of Seismological Research,2005,28(2):125-128. (in Chinese)

[36] 吴根耀.滇西北丽江—大理地区第四纪断裂活动的方式、机制及其对环境的影响[J].第四纪研究,1992,(3):265-276.
WU Gen-yao. The modes and Mechanism of Quaternary Fault Movent in Lijiang－Dali Area, Northwestern Yunnan and their Influence on Environment[J]. Quaternary Sciences,1992,(3):265-276. (in Chinese)

[37] 苏有锦,刘祖荫. 丽江 7.0 级地震震源环境及其破裂过程讨论[J].地震研究,1997,20(1):66-71.
SU You-jin, LIU Zu-yin. Discussion on the Source Environment and Rupture Process of the *M* 7.0 Lijiang Earthquake[J]. Journal of Seismological Research,1997,20(1):66-71. (in Chinese)

[38] 周光全,张建国,周瑞琦,等. 丽江 7.0 级地震的地震地质构造背景分析[J].地震研究,1997,20(1):92-100.
ZHOU Guang-quan, ZHANG Jian-guo, ZHOU Rui-qi, et al. Anlysis on Seismological Tectonic Background of the *M*7.0 Lijiang Earthquake[J]. Journal of Seismological Research,1997,20(1):92-100. (in Chinese)

[39] Fan C, Wang G, Wang S, et al. Structural Interpretation of Extensional Deformation along the Dali Fault System, Southeastern Margin of the Tibetan Plateau[J]. International Geology Review,2006,48(1):287-310.

[40] Wu Z, Zhang Y, Hu D, et al. Late Quaternary Normal Faulting and its kinematic Mechanism of Eastern Piedmont Fault of the Haba－Yulong Snow Mountains in Northwestern Yunnan, China[J]. Science in China: Series D, 2009, 52(10): 1470-1484.

[41] Socquet A, Pubellier M. Cenozoic Deformation in Western Yunnan (China－Myanmar Border)[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2005,24(4):495-515.

[42] Lacassin R, Replumaz A, Lelou P H. Hairpin River Loops and Slip-sense Inversion on Southeast Asian Strike-slip Faults[J]. Geology,1998,26(8):703-706.

[43] 常祖峰,安晓文,张艳凤.畹町断裂晚第四纪活动与水系构造变形[J].地震地质,2012,34(2):228-239.
CHANG Zu-feng, AN Xiao-wen, ZHANG Yan-feng. Study on Late-quaternary Activity and Displacement of Drainage Systems alone the Wanding Fault [J]. Seismology and Geology,2010,34(2):228-239. (in Chinese)

[44] Chen S F, Wilson C J L, Deng Q D, et al. Active Faulting and Block Movement Associated with Large Earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains, Northeastern Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research,1994,99(B12):24025.

[45] 焦青,杨选辉,许丽卿,等. 汶川 8.0 级地震前后龙门山断裂活动特征浅析[J].大地测量与地球动力学,2008,28(4):7-11.
JIAO Qing, YANG Xuan-hui, XU Li-qing, et al. Prelminary Study on Motion Characteristics of Longmenshan Fault before and after M_S8.0 Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2008,28(4):7-11. (in Chinese)

[46] 唐文清,刘宇平,陈智梁,等.龙门山断裂构造带 GPS 研究[J].大地测量与地球动力学,2004,24(3):57-59.
TANG Wen-qing, LIU Yu-ping, CHEN Zhi-liang, et al. GPS Study on Longmenshan Fault Zone[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2004,24(3):57-59. (in Chinese)

[47] 唐文清,陈智梁,刘宇平,等. 青藏高原东缘鲜水河断裂与龙门山断裂交会区现今的构造活动[J]. 地质通报,2005,24(12):1169-1172.
TANG Wen-qing, CHEN Zhi-liang, LIU Yu-ping, et al. Present-day Tectonics Activity in the Intersection Area of the Xianshuihe Fault and Longmenshan Fault on the Easten Margin of the Qinghai－Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China,2005,24(12):1169-1172. (in Chinese)

[48] 唐文清,刘宇平,陈智梁,等. 基于 GPS 技术的活动断裂监测——以鲜水河、龙门山断裂为例[J]. 山地学报,2007,25(1): 103-107.
TANG Wei-qing, LIU Yu-ping, CHEN Zhi-liang, et al. Monitoring of Faults Activity Based on GPS[J]. Journal of Mountain Science,2007,25(1):103-107. (in Chinese)

[49] Allen C R,韩源,Sich K E,等.红河断裂的第四纪活动研究(一):现代活动概貌和活动断裂证据[J].地震研究,1984,7(1):39-51.
Allen C R, HAN Yuan, Sich K E, et al. Study of the Quaternary Activities of the Red River Fault (I): General Survey of its Contemporary Activities and Evidence of Active Faulting[J]. Journal of Seismological Research,1984,7(1):39-51. (in Chinese)

[50] Allen C R,韩源,Sich K E,等.红河断裂的第四纪活动研究(二):断裂活动特征、滑动速率与地震重复周期探讨[J].地震研究,1984,7(2):171-186.
Allen C R, HAN Yuan, Sich K E, et al. Study of the Quaternary Activities of the Red River Fault (II): Its Features of Activity, Slip Rate and Recurrence Intervals of Earthquakes[J]. Journal of Seismological Research,1984,7(2):171-186. (in Chinese)

[51] 朱俊江,詹文欢,唐诚,等.红河断裂带活动性研究[J].华南地震,2003,23(2):13-19.
ZHU Jun-jiang, ZHAN Wen-huan, TANG Cheng, et al. Study on Activity of the Red River Fault Zone[J]. South China Journal of Seismology,2003,23(2):13-19. (in Chinese)

[52] 钟康惠,刘肇昌,舒良树,等.澜沧江断裂带的新生代走滑运动学特点[J].地质论评,2004,50(1):1-8.
ZHONG Kang-hui, LIU Zhao-chang, SHU Liang-shu, et al. The Cenozoic Strike-slip Kinematics of the Lancangjiang Fault Zone [J]. Geological Review,2004,50(1):1-8. (in Chinese)

[53] 毛玉平,张俊昌.澜沧—耿马地震发震构造初步研究[J].地震研究,1991,14(1):10-16.
MAO Yu-ping, ZHANG Jun-chang. Preliminary Analysis on the Seismogenic Tectonics of the Nov. 6, 1988, Lancang—Gengma Earthquake[J]. Journal of Seismological Reserch, 1991,14(1):10-16. (in Chinese)

[54] King G C P, Stein R S, Lin J. Static Stress Changes and the Triggering of Earthquakes[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,1994,84(3):935-953.

[55] Harris R A, Simpson B W. Changes in Static Stress on Southern California Faults after the 1992 Landers Earthquake [J]. Nature,1992,360:251-254.

[56] Toda S, Stein R S, Sevilgen V, et al. Coulomb 3.3 Graphic-rich Deformation and Stress-change Software for Earthquake, Tectonic, and Volcano Research and Teaching: User Guide[M]. 2011:63.

[57] Parsons T, Ji C, Kirby E. Stress Changes from the 2008 Wenchuan Earthquake and Increased Hazard in the Sichuan Basin[J]. Nature,2008,454:509-510.

[58] 邵志刚,周龙泉,蒋长胜,等.2008 年汶川 M_S8.0 地震对周边断层地震活动的影响[J].地球物理学报,2010,53(8):1784-1795.
SHAO Zhi-gang, ZHOU Long-quan, JIANG Chang-sheng, et al. The Impact of Wenchuan M_S8.0 Earthquake on the Seismic Activity of Surrounding Faults[J]. Chinese Journal of Geophysics,2010,53(8):1784-1795. (in Chinese)

[59] Toda S, Lin J, Meghraoui M, et al. 12 May 2008 $M=7.9$ Wenchuan, China, Earthquake Calculated to Increase Failure Stress and Seismicity Rate on Three Major Fault Systems[J]. Geophysical Research Letters,2008,35(17):1-6.

[60] 吴中海,赵希涛,范桃园,等.泛亚铁路滇西大理至瑞丽沿线主要活动断裂与地震地质特征[J].地质通报,2012,31(2/3):191-217.
WU Zhong-hai, ZHAO Xi-tao, FAN Tao-yuan, et al. Active Faults and Seismologic Characteristics along the Dali—Ruili Railway in Western Yunnan Province[J]. Geological Bulletin of China,2012,31(2/3):191-217. (in Chinese)

[61] Bai D, Meju M A. Deep Structure of the Longling—Ruili Fault Underneath Ruili Basin near the Eastern Himalayan Syntaxis[J]. Tectonophysics,2003,364:135-146.

[62] 黄崐,万建平,黄莺.1976 年龙陵地区地震前后垂直形变的演变过程[J].地震研究,1987,10(6):671-680.
HUANG Kun, WAN Jian-ping, HUANG Ying. The Evolution of Vertical Deformation in Longling Area before and after the 1976 Earthquake[J]. Journal of Seismological Reserch, 1987,10(6):671-680. (in Chinese)

[63] 常祖峰,陈刚,余建强.大盈江断裂晚更新世以来活动的地质证据[J].地震地质,2011,33(4):877-888.
CHANG Zu-feng, CHEN Gang, YU Jian-qiang. Geological Evidence of Activity along the Dayingjiang Fault since Late Pleistocene[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(4): 877-888. (in Chinese)

[64] 安晓文,常祖峰,石静芳.大盈江断裂西南段晚第四纪活动研究[J].地震研究,2009,32(2):193-197.
AN Xiao-wen, CHANG Zu-feng, SHI Jing-fang. Investigation of Late Quaternary Activity along the South-western Segment of the Dayingjiang Fault[J]. Journal of Seismological Reserch,2009,32(32):193-197. (in Chinese)

[65] 钱晓东,苏有锦,付虹,等.2011 年云南盈江 5.8 级地震及震前短临跟踪预测[J].地震研究,2011,34(4):403-413.
QIAN Xiao-dong, SU You-jin, FU Hong, et al. Short-term and Impending Prediction of the Mar. 10, 2011, M_S5.8, Yingjiang, Yunnan Earthquake[J]. Journal of Seismological Reserch,2011,34(4):403-413. (in Chinese)

[66] 付虹,黄浩,李丽,等.2011 年 3 月 10 日云南盈江 5.8 级地震序列研究[J].地震研究,2011,34(4):414-419.
FU Hong, HUANG Hao, LI Li, et al. Research of Mar. 10, 2011, M_S5.8, Yingjiang, Yunnan Earthquake Sequence[J]. Journal of Seismological Reserch,2011,34(4):414-419. (in Chinese)

[67] 杨晶琼,杨周胜,刘丽芳,等.2008 年盈江 5.9 级地震序列震源参数研究[J].地震研究,2010,33(4):308-312.
YANG Jing-qiong, YANG Zhou-sheng, LIU Li-fang, et al. Study on the Source Parameters of the Yingjiang M_S5.9 Earthquake Sequence in 2008[J]. Journal of Seismological Reserch,2010,33(4):308-312. (in Chinese)

[68] SUN Yao, AN Meijian, FENG Mei, et al. Seismogenic Tectonics and Dynamics of the 2011 M_S5.9 Yingjiang Earthquake in Yunnan, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition),2014,88(2):468-482.

[69] Mogi K. Two Kinds of Seismic Gaps[J]. Pure and Applied Geophysics,1979,117(6):1172-1186.

川滇地区主要活动断裂的活动特征及其近十年的地震活动性

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 孙尧， 吴中海， 安美建， 龙长兴， SUN Yao， WU Zhong-hai， AN Mei-jian， LONG Chang-xing

作者单位： 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

刊名： 地震工程学报 ISTIC PKU

英文刊名： China Earthquake Engineering Journal

年，卷(期)： 2014(2)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_xbdzxb201402019.aspx