

文章编号: 0253-3782(2002)01-0057-10

2001 年四川省雅江-康定 6.0 级地震 烈度考察及发震构造背景雏议^{*}

何玉林 张 勤 黄 伟

(中国成都 610041 四川省地震局)

摘要 2001 年 2 月 23 日四川省发生的 6.0 级地震, 其宏观震中位于雅江县与康定县之间的高山峡谷地带。极震区烈度可达Ⅸ度, Ⅸ度区、Ⅷ度区和Ⅶ度区面积分别为 180 km^2 , 1472 km^2 和 3998 km^2 , 等震线分布总体形态呈椭圆形, 长轴近南北向。震区建筑物普遍受损, 极震区山地灾害较为严重。初步分析认为, 此次地震的发生与理塘断裂和玉农希断裂的长期活动有关, 主干断裂活动造成的地壳应力调整和集中, 最终在块体内部的次级断裂上释放而产生地震。

关键词 地震烈度 等烈度线 地面破坏 发震构造 雅江-康定 6.0 级地震

中图分类号: P316 **文献标识码:** A

引言

据中国地震台网测定, 北京时间 2001 年 2 月 23 日 8 时 9 分, 四川省甘孜州发生了里氏 6.0 级地震, 震中位于东经 $101^{\circ}06'$ 、北纬 $29^{\circ}24'$ 。这次地震的震区位于 6 县交界的结合部位。地震发生后, 四川省地震局迅速启动了“破坏性地震应急预案”, 并按职责要求立即派出工作队赴震区开展现场科学考察。

四川省地震局和甘孜州地震局先后抽调 21 人组成了大震现场工作队, 在 2 月 23 日 ~ 3 月 3 日的 9 天时间内, 工作队克服了高山缺氧、气候和交通条件恶劣等种种困难, 圆满完成了此次 6.0 级地震的宏观烈度考察任务。

1 震区概况

震区(地震烈度 \geqslant VI 度)包括四川省两州 6 县 24 乡(镇), 即甘孜藏族自治州雅江县的波斯河、牙依河、恶古、八衣绒、麻郎措、米龙、德差、俄洛等 8 个乡和河口镇(雅江县城), 康定县的吉居、沙德、普沙绒、六巴等 4 个乡, 理塘县的下木拉、中木拉、拉波、麦洼、德巫等 5 个乡, 九龙县的上团、八窝龙等两个乡和凉山彝族自治州木里县的唐央、东朗、博窝等 3 个乡, 以及稻城县省母乡部分地区, 总面积近 6000 km^2 、总计 8553 户、42508 人。

震区位于青藏高原的东南缘, 自然地理上属雅砻江深切河谷区的半干旱地带。地貌上表现为山体高大、河流深切。区内有多条北东走向的次级河流汇入近南北走向的雅砻江。

* 2001-04-23 收到初稿, 2001-08-21 收到修改稿, 2001-11-04 决定采用。

河谷呈典型的狭窄“V”型、两壁陡峭，谷底与山峰最大高差可达3 000 m，地势极为险峻。由于河流岸坡植被覆盖率较低，山地灾害如崩塌、滚石和滑坡等随处可见。

震区地质构造条件较为复杂，北西向的理塘断裂带和北东向玉农希断裂在此交汇，构成了震区主体构造格架。这两条断裂均属全新世活动断裂，航卫片解译、小震空间分布以及前人的实地研究都可清楚地描绘出上述断裂的几何结构，提供出活动性的证据。特别是作为川滇块体内部的重要断裂之一的理塘断裂，断错地貌发育，新沉积物变形强烈，沿断裂曾有数次中强地震发生。

震区内重要的历史地震事件有1936年理塘5.5级地震、1948年理塘7.3级地震、1968年理塘南西5.7级地震和1975年康定六巴6.2级等地震。此外，2001年2月14日曾在极震区发生一次5.0级地震（为这次6.0级地震的前震），并造成了一定程度的破坏。

震区属于典型的“老、少、边、穷”地区，经济发展迟缓，房屋总体抗震性能较差，交通、通信状况极差。尤其是震中区不通公路、不通电话，若从雅江县的波斯河到牙依河需步行3天或骑马两天方能到达。一些驿道也因山地灾害影响而时常中断，当地居民的生活、生产物质等均靠人背马驮。上述情况严重影响了各项抗震救灾工作的进行。

综上所述，震区复杂的地震地质、地貌环境；抗震性能很低的建筑、震害叠加等因素使地震灾害加重，不便的交通、通信条件给地震应急救灾工作造成了诸多不利。

2 震区建筑物抗震性能和地震宏观烈度评定标准的确定

2.1 震区建筑物抗震性能

震区内房屋大多为石木结构的藏房，仅在县城可见到砖混结构房屋和极少数框架结构房（Ⅲ类房屋）。藏房平面形状近于正方形，大多数为3层。其内部有数量不等的承重木排柱，墙体可分为块石墙和碎石土夯墙两类，屋顶为泥土平顶，一般底楼为牲畜圈房，二楼住人，三楼堆放柴草。内部木柱均浮立于块石，柱顶有梁托，柱梁之间多数为“积木式”连接。这种房屋整体性很差，应属Ⅱ类房屋。根据以往震害经验，块石墙体在Ⅶ度区内就会产生裂缝，在Ⅷ度区则会严重开裂，Ⅸ度区就要出现垮塌现象；此外，震区还存在着一定数量的牲畜棚、厨房、厕所等简易建筑，其抗震性能极差，属Ⅰ类房屋。

2.2 震区宏观烈度评定标准的确定

现场考察组以《中国烈度表 GB/17742-1999》和《地震现场工作大纲和技术指南》（中国地震局，1998）的有关技术要求为基本依据，结合震区建（构）筑物、地形地貌特征等具体情况，并同时考虑2001年2月14日5.0级地震震害叠加因素，综合确定出震区地震宏观烈度评定标准（表1）。

3 地震宏观烈度分布及震害描述

3.1 地震宏观烈度分布

根据上述标准，在震区选取38个控制点进行评定。经室内综合整理，勾划出此次地震宏观烈度分布图（图1）。各烈度区的几何形状大致呈长轴近南北向的椭圆状，其具体参数见表2。极震区地震宏观烈度达Ⅸ度。这些烈度控制点中有30个为实地考察点、8个为访问点（表3）。

表 1 震区地震宏观烈度评定标准

烈度	人的感觉	房屋破坏情况	地面破坏情况	代表点
VIII	上下震动强烈，行走不稳	墙体大面积开裂，梁柱位移明显，部分倒塌	滑坡、崩塌、滚石现象多见	波斯河、下日、吉居
VII	大多数人惊慌逃出	墙体普遍开裂，梁柱出现位移	地面出现细微裂缝，有崩塌、滚石现象	火山、八衣绒、上马岩
VI	震感强烈，惊慌失措	墙体局部开裂、有掉瓦(压板)现象	地面无明显破坏现象	沙德、麻朗错、下木拉

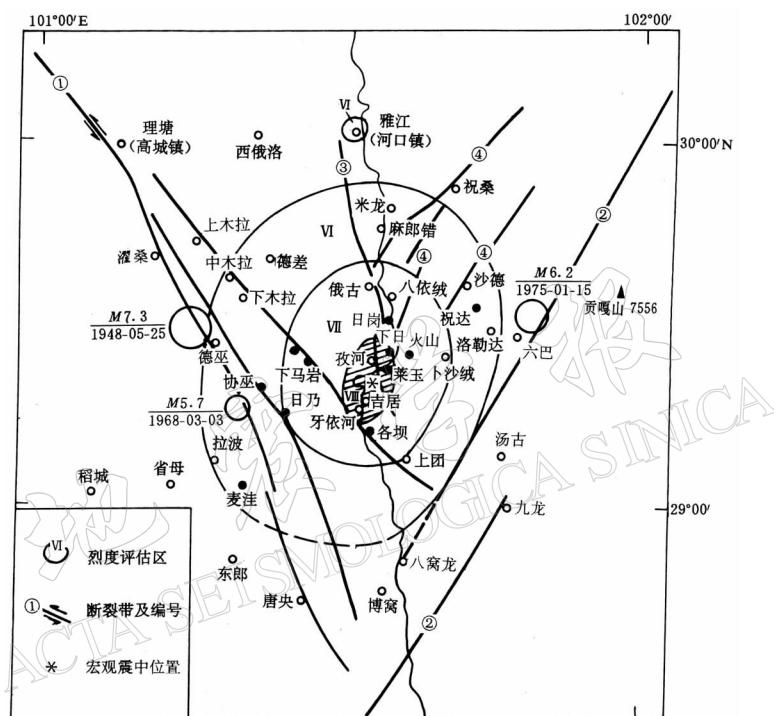


图 1 2001 年 2 月 23 日雅江 6.0 级地震等烈度线分布图

①理塘断裂带；②玉农希断裂带；③恶古—宋玉断裂带；④八衣绒—沙德断裂带

表 2 6.0 级地震宏观烈度分布参数

烈度	长轴/km	短轴/km	长短轴之比	面积/km ²
VIII	20.0	12.0	1.7	180
VII	62.0	41.0	1.5	1 472
VI	107.0	88.3	1.2	3 998

3.2 各烈度区震害情况

1) VIII度区(极震区). 北起雅江县孜河乡的下日村, 沿雅砻江两岸向南延伸至牙衣河乡, 涉及到两县三乡, 共计 682 户、2 865 人. 主要调查点有康定县的菜玉、宋玉、吉居和雅江县的下日、孜河、牙衣河. 这些调查点均沿雅砻江两岸分布. 区内房屋建筑(均为藏式楼房)大多数损坏, 少数破坏严重, 甚至局部倒毁. 区内的 I 类房屋, 如厨房、厕所等几乎

表 3 地震宏观烈度控制点一览表

编号	抽样地名	φ_N	λ_E	场地条件	调查类型	烈度
1	波斯河	29°22'	101°03'	冲洪积层	实地调查	VIII
2	下日	29°24'	101°06'	坡积层	实地调查	VIII
3	牙衣河	29°16'	101°02'	坡积层	访问调查	VIII
4	吉居	29°17'	101°02'	残坡积层	实地调查	VIII
5	宋玉	29°21'	101°04'	残坡积层	实地调查	VIII
6	菜玉	29°22'	101°05'	残坡积层	实地调查	VIII
7	各坝	29°10'	101°03'	残破积层	实地调查	VII
8	冷古	29°24'	101°08'	残坡积层	实地调查	VII
9	恶古	29°36'	101°01'	残坡积层	实地调查	VII
10	大河边	29°34'	101°04'	残坡积层	实地调查	VII
11	八衣绒	29°34'	101°05'	残坡积层	实地调查	VII
12	普沙绒	29°24'	101°19'	残坡积层	实地调查	VII
13	火山	29°25'	101°11'	基岩出露的 坡积层	实地调查	VII
14	上马岩	29°26'	101°51'	堆积阶地	实地调查	VII
15	下马岩	29°23'	101°55'	堆积阶地	访问调查	VII
16	日乃	29°12'	101°50'	冲洪积层	访问调查	VII
17	上团	29°06'	101°12'	残坡积层	实地调查	VI
18	河口镇	30°01'	101°00'	残坡积层	实地调查	VI
19	米龙	29°50'	101°05'	残坡积层	实地调查	VI
20	祝桑	29°52'	101°19'	堆积阶地	实地调查	V
21	沙德	29°37'	101°22'	残坡积层	实地调查	VI
22	祝达	29°34'	101°24'	冲洪积层	实地调查	VI
23	洛勒达	29°28'	101°28'	坡洪积层	实地调查	VI
24	德差	29°41'	100°45'	冲洪积层	访问调查	VI
25	上木拉	29°43'	100°31'	残坡积层	实地调查	V
26	中木拉	29°38'	100°37'	残坡积层	实地调查	VI
27	德巫	29°27'	100°35'	冲洪积层	实地调查	VI
28	协巫	29°19'	100°44'	坡洪积层	访问调查	VI
29	拉波	29°10'	100°34'	冲洪积层	实地调查	VI
30	麦洼	29°03'	100°42'	坡洪积层	访问调查	VI
31	东朗	28°51'	100°41'	冲洪积层	访问调查	V
32	唐央	28°45'	100°54'	冲洪积层	访问调查	V
33	博窝	28°47'	101°07'	残坡积层	访问调查	V
34	八窝龙	28°52'	101°12'	残坡积层	访问调查	V
35	下木拉 (则工)	29°36'	100°40'	冲洪积层	实地调查	VI
36	日岗	29°32'	101°07'	坡积层	实地调查	VII
37	日衣	29°29'	101°08'	残坡积层	实地调查	VII
38	雨日	29°25'	101°08'	残坡积层	实地调查	VII

全部倒塌。雅江县孜河村 47 户中有 9 户住房(Ⅱ类)局部倒塌, 扎曲家新建楼房花岗岩条石墙墙角跨塌。村公用房屋损坏严重, 中心小学 3 栋块石墙平房均出现严重破坏, 屋脊下陷, 屋顶梭瓦、掉瓦严重, 墙体普遍开裂、倾斜, 长达 120 m 的石垒围墙(高 2 m)大部分倒塌, 乡政府平房(3 栋)破坏更为严重, 其中一栋西侧垮塌。村民扎仁多老式藏房南翼全部震跨。下日村 28 户中有 6 户住房局部倒塌, 昂日家楼房墙体多处开裂、变形, 大门无法打开, 梁柱间有明显位移。值得一提的是, 村南有一眼 1975 年干枯的“休眠泉”震后重新冒水。雅砻

江对岸的吉居乡破坏也同样严重。吉居村81户中有18户住房局部倒塌。村小学校舍破坏严重，其中一间教室天花板塌落。宋玉村62户中有9户住房局部倒塌，向巴罗绒家的楼房南墙外闪，屋顶严重下沉，墙与楼面拉开距离达10 cm。学校和卫生院房屋墙体裂缝密布，规模最大者长4 m、宽1 cm。

区内震感十分强烈，据调查统计，有85%的居民感到上下振动强烈并伴随有震耳的轰鸣声。卧床者有上抛离床之感，行走者多数站立不稳，少数牲畜震倒。室内器皿（茶瓶、碗等）纷纷翻倒。

区内地震引起的山地灾害十分严重，在孜河村通往下日村的小道上，可见到规模大、类型多的各种山地灾害。沿道路两旁到处可见山体滑坡，山坡上分布有多条规模不等的地裂缝，单条长度可达1 km以上、宽度则在20~30 cm，山体崩塌十分严重，滚石最大者可达十余立方米，大片林木倒伏。据不完全调查和统计，牙依河乡和吉居乡境内的大小滑坡达上百处。其中菜玉村的一处地震滑坡可达135万m³。严重的山地灾害给震区群众生命财产带来了重大损失。据调查核实，区内居民有2名被滚石砸死、7名自清晨放牧后失踪，近600头牲畜死亡或失踪。生命线工程和设施损坏严重，累计有几十公里长的人畜引水渠道、上百公里长的乡间便道、十几座便桥、近百台微型水力发电机等遭受到不同程度的破坏。地震所引发的山地灾害还毁坏了近400亩耕地。这些耕地无法正常蓄水，严重影响了当地群众的生产和生活。

由于有2001年2月14日5.0级地震的经历，许多群众一直露宿在外，警觉性较高，故6.0级地震发生时人员伤亡不大。

2)Ⅶ度区。北起雅江县的俄吉，南抵九龙县的上团，东达康定县的卜沙绒，西至理塘县的上马岩，涉及到4县5乡、1 074户、4 090人。主要调查点有八衣绒、恶古、日岗、大河边、火山、卜沙绒、上马岩、下马岩、日乃。区内的房屋普遍受损，具体表现为块石墙出现大面积开裂，个别遭受严重破坏。恶古乡日衣村45户中，有1户（阿基若家）藏式楼房墙体几乎全部垮塌，其余则出现不同程度的破坏。牙根村35户中有2户楼房局部倒塌，10户楼房墙体倾斜、严重开裂，裂缝最宽者达5 cm。孜河乡雨日村的22户中，有2户房屋倒塌，80岁的卓玛曲珍被倒下的木梯砸伤。下木拉乡的上马岩村18户中有8户房屋遭到严重破坏而成为危房。村民松培家三楼北墙外闪，与天花板拉开长3 m、宽5~25 cm的豁口。村民曲登家藏房“塌顶”。卜沙绒乡共有居民441户，有17户房屋遭受严重破坏，其中火山村4户居民房屋主要是被山上滚石砸坏，其余房屋半数出现轻微—中等程度的破坏。乡政府所在地冰谷村36户中有2户房屋遭受严重破坏，乡政府两栋二层块石墙楼房墙体倾斜严重，大面积出现裂缝，最宽者达4 cm。吉居乡的各坝村219户中有近10户房屋严重破坏或局部倒塌，118户房屋有一定程度的损坏。

区内居民普遍反映震感强烈，以水平晃动为特征，震时许多人逃出屋外，室内部分器皿震落。

区内地震所引发或加重的次生灾害也较为严重。沙德至火山近40 km长的简易公路是通往极震区的唯一快速通道，其路基多处开裂，沿线大小滚石、滑坡多见。区内其它生命线工程也遭受不同程度的破坏。横跨雅砻江之上的波斯河吊桥桥墩出现细微裂缝，东桥头的两个钢索拉环已有所松动，周围混凝土部分震落。地震引发或加重的山地灾害使区内的水电设施遭到不同程度的破坏，八衣绒乡400 kW电站引水渠道多处开裂和堵塞，厂房受

损，电站被迫停产。据调查访问，区内近百台微型发电机遭到山地灾害破坏，乡村便道损坏者甚多，特别是雅砻江波斯河段 1975 年的特大山体滑坡因这次地震灾情大大加重，使通往极震区的小道完全中断。山体滑坡还造成了数百亩耕地不能正常蓄水，数百头牲畜死亡或失踪。

3) VI 度区。北起雅江县的米龙，南至九龙县的八窝龙，东靠康定县的六巴，西抵理塘县的中木拉，涉及到 6 县 14 乡，4 375 户、28 287 人。主要调查点有麻郎错、德差、中木拉、下木拉、德巫、拉波、祝达、沙德。区内房屋半数以上受损，屋顶梭瓦、掉瓦现象普遍，部分房屋墙体开裂。个别房屋破坏严重。雅江县麻郎错的居民房屋多数有轻微裂缝，屋顶压石移动或掉下者甚多，信用社 3 层砖混房外墙面出现穿透性裂缝。中木拉乡的柯夏村 41 户中有 20 户房屋基本完好，其余均有一定程度的损坏，其中村民四郎家二层楼房天花板局部震落，乡中心小学水泥砖砌平房教室墙体裂缝较多，砖柱与圆木柱之间拉开 2~3 cm 豁口，屋顶有梭瓦现象。下木拉乡 14 户中有 9 户房屋出现损坏，其中村民布罗家楼房外墙向南严重倾斜，墙体分布有多条裂缝。格西村 69 户中半数以上出现一定程度的损坏，其中村民阿夏家 3 层藏式楼房墙体大面积垮塌，村小学石木结构楼房 3 楼墙体与屋顶间开裂达 15 cm。黄烟村 18 户中有 10 户房屋损坏，村民郎嘎家 3 层楼房中柱明显倾斜，墙角局部垮塌。康定县沙德乡政府所在地生古村 75% 的建筑出现一定程度的损坏，主要表现为墙体出现细微裂缝，屋顶有梭瓦(石)现象，村民孔沙家藏式楼房墙体有明显裂缝，最宽处可达 1 cm。公用房屋损坏明显，乡政府办公室数间平房(石木结构)墙体开裂，乡卫生院楼房外墙抹灰层严重剥落，裂缝密布，屋顶梭瓦严重，围墙出现宽 1~1.5 cm 的斜裂缝。乡信用社两栋 4 层楼房墙体多处出现细微裂缝。六巴乡祝达村 26 户中有 10 户房屋有损坏。

区内震感明显，室内少部分器皿晃倒，屋顶有掉泥沙现象，群众普遍感到近南北向的晃动。

区内的生命线工程也有一定程度的损坏。理塘拉波满九大桥(石拱桥)桥基多处开裂，最宽处为 1.5 cm，拉波乡 400 kW 电站引水渠开裂，造成漏水，拦水坝出现轻微裂缝而影响正常蓄水，机房水泥砖墙也有裂缝出现，致使一台机组(200 kW)停止运行。理塘中木拉乡 100 kW 电站引水管震裂，康定沙德桂王桥 100 kW 电站工作房墙体开裂，引水渠受山地灾害影响而流量减少。

地震还造成沙德—六巴间简易公路出现多处小型崩塌、滑坡，给行车造成很大的困难。

4) 河口镇 VI 度异常区。雅江县城所在地河口镇距极震区 60 km，房屋建筑主要分布在雅砻江右岸的一滑坡体上，面积近 29 km²，因这次地震影响而使部分房屋出现不同程度的破坏。该镇共有居民 2 422 户、7 266 人，房屋类型大致分为两类：一类是砖混结构的多层砖房和少量框架结构的房屋，另一类是土坯墙(砖墙)人字架青瓦房。据调查统计，近 1/3 的房屋出现不同程度的损坏，有些砖混结构房屋(I 类房屋)甚至出现中等程度的破坏。雅江县政府招待所 4 层砖混楼房楼梯间墙体多处出现穿透性裂缝，宽度为 0.5~1.5 cm，且有位移现象。县医院共有 4 栋建筑，其中 1 栋家属楼(3 层、砖木结构)墙体多处出现穿透性裂缝，最宽处达到 2 cm，且有位移现象。砖混结构(5 层)的综合楼破坏严重，顶楼宿舍墙体严重开裂，最宽达 3 cm，承重梁倾斜，底层消毒供应室山墙大面积垮塌，房屋基角有下沉现象，而距该楼 50 m 远的新建医院住院部(砖混结构)基本完好。县武警中队东侧监狱砖砌围墙墙体开裂，拐角处出现宽达 5 cm 的豁口，砖柱有位移现象，围墙 上部巡视走廊脱

落。总之,该烈度异常区的形成与地震造成地基失效有着直接的联系。

4 震区发震构造分析

4.1 震区地质构造背景

雅江-康定震区位于青藏高原东南缘、川滇菱形块体内,褶皱、断裂较为发育,构造背景复杂。规模宏大的北西向理塘断裂带和北东向展布的玉农希断裂带在震区附近交汇。此外,区内还分布有数条次级断裂,其中北北西走向的恶古—宋玉断裂直接通过极震区(图1)。

理塘断裂带属川滇块体内部的主要活动断裂带。其北西端始于蒙巴,向南东经查龙、毛垭坝、理塘、甲洼、德巫至木里以北,长约385 km,走向北西,倾角较陡,总体倾向北东。该断裂带的北段(查龙—毛垭坝)由数条断层呈右阶羽列排列,各断层之间为第四纪盆地;南段(理塘—德巫)主要由理塘—德巫、擦忠和木拉3条北西向断裂组成。这3条断裂由北西延至南东,呈束状撒开。理塘断裂带主要发育于古生界、三叠系和印支、燕山期花岗岩、基性岩及超基性岩中,第四纪以来表现出明显的活动性。理塘—德巫段断错地貌显著,沿断裂可见断层陡坎、边坡脊、水系扭错和山脊扭错。该段晚第四纪以来水平滑动速率可达5 mm/a(唐荣昌,韩渭宾,1993)。此外,理塘—德巫断裂附近的第四纪地层中有变形现象,如在甲洼北的伊津中更新沉积层中发育有走向北55°西、倾向北东、倾角36°的逆断层。断裂现今活动也十分强烈,有史料记载以来先后发生过1930年理塘5½级地震、1948年甲洼7.3级地震、1968年理塘南西5.7级地震、1979年沙马5级地震和1986年理塘南东5.6级地震。

玉农希断裂是川滇块体内部的另一条活动断裂,沿贡嘎山西麓呈N20°~30°E方向延伸。构成贡嘎山第四纪强烈隆起断块山地的西界。该断裂北起康定南西,沿玉农希沟向南西方向延伸,经汤古、八窝龙等地与理塘断裂相交,主要断于三叠系西康群(T)地层中,断面倾向北西。喜山运动以来,玉农希断裂表现出一定的活动性。在瓦夏乡附近,断裂控制了老第三纪上乌组红层与第四纪盆地的发育,并可见到三叠系浅变质砂板岩由东向西逆冲于老第三纪红层之上。最新研究表明(黄伟等,2000),在1975年康定六巴6.2级地震极震区的日阿德-瓦夏乡一带,断裂活动形成了较为明显的断错地貌(坡中槽和洪积扇变形),显示出较强的倾滑运动特征。推测玉农希断裂晚更新世以来的垂直滑动速率为0.5~0.6 mm/a。

除了上述两条主干断裂外,震区还分布有两组次一级断裂,即北东向的沙德—八衣绒断裂带和北北西向的恶古—宋玉断裂带。这些断裂规模较小,单条长度在15~30 km,并在极震区附近交汇。其中宋玉断裂在极震区呈近南北向通过。该条断裂主要断于三叠系上统地层,且控制了燕山期花岗岩体的分布。断层破碎带片理发育,显示出压扭性特征。通过地面地质调查及室内航卫片解译,沿上述这些断裂均没有明显的断错地貌标志,也未见有地震事件发生的史料记载,故这些次级断裂的活动性较弱。

总之,雅江-康定地震震区是位于两条区域性活动断裂,即北东向的玉农希断裂和北东向的理塘断裂的交汇处。同时,区内还分布有多条次级断裂,构造背景相当复杂。

4.2 发震构造分析

4.2.1 等烈度线的几何形态

通过现场考察勾绘出的等震线见图1。其极震区(Ⅷ度区)位于宋玉断裂上,且长轴方

向基本上与断裂的走向一致。Ⅶ度、Ⅵ度区的长轴延伸方向也呈近南北向。

4.2.2 震源机制解

表4给出了2月23日雅江地震主震($M=6.0$)和2月14日前震($M=5.0$)的震源机制解。这两次地震的震源参数几乎完全相同,其震源错动面沿两个方向展布,即近南北向和北西西-南东东向,且倾角很大。其中,节面I走向北北东、倾向北西,具挤压逆冲性质。考虑到台网的实际监测能力,可以看出,节面I与震区分布的宋玉断裂的产状和性质最接近,很可能是这条断裂深部错动的结果。

表4 雅江地震震源机制解初步结果

地震	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴	
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位角	仰角	方位角	仰角	方位角	仰角	方位角	仰角	方位角	仰角
2月14日 M5.0	12°	NW	67°	114°	NE	65°	102°	23°	204°	25°	243°	1°	153°	35°	334°	55°
2月23日 M6.0	10°	NW	68°	111°	NE	64°	100°	22°	201°	26°	241°	2°	150°	34°	334°	55°

注:资料由四川省地震局二所提供的。

4.2.3 主震和余震的分布图象

从图2可以看出,2月23日6.0级主震和其所发生的余震主要集中在极震区及其附近。此外,主震后3天内的余震有呈近北北西向分布的迹象,显然与震区分布的八衣绒—宋玉断裂带相关。

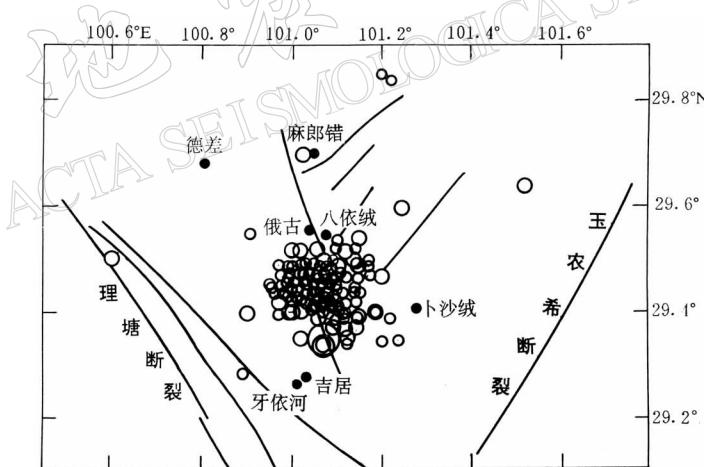


图2 雅江6.0级地震及其余震空间分布图(2001年2月23日~4月1日)

4.2.4 地面地裂缝

前已述及,震区特别是极震区分布有众多地裂缝,其中多属重力裂缝。考虑到震区许多地段因地理条件限制而无法进入调查,故不能排除地表有地震破裂的存在。特别值得一提的是,极震区内的下日—孜河—吉居一线地震所引发的山地灾害十分严重,滑坡、崩塌、滚石随处可见,滚石最大者达数十立方米。其分布应与近南北向分布的宋玉断裂有着直接的联系。

综上所述,雅江6.0级地震发生具有一定的地质构造背景。震区位于北西向理塘断裂

和北东向玉农希断裂的交汇部位,上述两条活动程度有着明显差异的全新世活动断裂的持续活动,势必引起块体内部的应力不断调整、变化,而区内的一些次级断裂及其会聚部分往往形成应力高值区,当积累的应力超过一定的阈值时,断裂产生失稳滑动,从而发生地震。

5 结论

1) 雅江6.0级地震同以往震例相比,具有明显的震害偏高特点。其原因主要有以下几点:①震害叠加。6.0级主震发生9天前,原地曾发生过的一次5.0级地震(具体参数见表4)已给震区,特别是极震区造成了相当程度的破坏和影响,许多房屋出现了不同程度的损坏,部分地段还出现了一定程度的山地灾害。在这种环境中,6.0级主震发生犹如雪上加霜,使灾害程度大大提高;②场地条件不利。震区主要属雅砻江深切河谷地带,地壳抬升幅度很大,两岸地形陡峭,加上植被覆盖率较低,水土流失严重,平时山地灾害就时有发生,这次地震除了使原有山地灾害加重外,还引发了相当数量的滑坡、滚石和崩塌,其结果使大量的房屋、生命线工程损坏,经济损失相当惨重;③建筑物抗震性能差。震区建筑物受经济条件和民族习俗制约,抗震性能普遍不佳,这些“积木式”的藏式片石楼房自重大、整体性差,在低烈度区也往往会出现较重的破坏,而且,要想彻底修复损坏的房屋是相当困难的。由此可见,要想最大限度地减轻地震带来的灾害,各级政府和相关部门要在营造良好的生态环境上狠下功夫,作好退耕还林工作。同时,要从当地的实际情况(如经济条件、民族习俗)出发,尽快研究和推广既经济实用,抗震性能又好的新型结构房屋,最大限度地减轻地震灾害。

2) 受工作条件和地震台网监测能力等因素的制约,目前对这次地震成因和发震构造的研究程度显然是不够的,有一些问题尚待解决,如地震破裂是否到达地表?特别是地震震源应力场P轴呈北东-南西向分布,与北西向区域应力场有着明显的区别。若能了解和掌握这一变化现象,无疑对研究地震成因乃至地震预报大有裨益。

3) 2001年2月23日雅江6.0级地震,是在继1989年巴塘6.7级震群、小金6.6级地震后四川境内11年未有6级以上强震发生的背景下发生的,这是否预示着地处青藏高原东南侧、我国南北地震带的中段和南段的四川地区,地震活动已进入一个新的活跃时期,甚至有可能发生7级以上的大震。笔者认为,现在对此下一个明确的结论尚为时过早。从发震构造背景初步分析结果看,这次地震是发生在川滇块体的内部,而不是在边界或主干断裂上,与震区关系最为密切的两条主干断裂(理塘断裂和玉农希断裂)在20世纪30~70年代末强震不断,最大地震为7.3级。那段时间显然是一個应力集中释放的过程,尔后的平静期仅过了30年,显然,沿主干断裂重现7级以上地震的可能性极小。相比之下,恶古-宋玉断裂、八衣绒-沙德断裂的活动性和规模远远不及主干断裂,6级地震应是这些块体内部次级断裂的最大发震能力。若把这次地震当作上述应力集中释放后的应力重新调整分布和逐渐释放的结果,笔者认为,震区乃至更大区域的地震活动水平并未有本质上的增强。

闻学泽研究员对本研究进行了悉心指导。邓昌文、张绪奇、郭劲、李小林、韩小平、徐水森、陈兵、刘建明、杨贤和、康大荣、李学川、罗凯、秦遂春、黄志红、万忠志和罗新华等同志参加了野外考察工作,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 黄伟, 周荣军, 何玉林, 等. 2000. 四川玉农希断裂的全新世活动与 1975 年康定六巴 6.2 级地震[J]. 中国地震, 16(1): 53~59
- 唐荣昌, 韩渭宾主编. 1993. 四川活动断裂与地震[M]. 北京: 地震出版社, 113~118
- 中国地震局编. 1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京: 地震出版社, 93~140

INVESTIGATION ON INTENSITY DISTRIBUTION AND SEISMOGENIC STRUCTURE OF THE 2001 YAJIANG-KANGDING EARTHQUAKE OF M6.0

He Yulin Zhang Qin Huang Wei

(Seismological Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: An earthquake of $M6.0$ occurred on February 23, 2001 in the western Sichuan Province, China. The macroseismic epicenter situated in the high mountain-narrow valley region between Yajiang and Kangding counties. According to the investigation on the earthquake region, the areas with intensity VIII, VII and VI region are 180 km^2 , $1\,472 \text{ km}^2$ and $3\,998 \text{ km}^2$, respectively. The isoseismals are generally in elliptic shape with long axis trending near NS direction. The earthquake destroyed many buildings and produced some phenomena of ground failure in the area with intensity VIII. This event may be resulted from long activities of the Litang fault and Yunongxi fault, two main faults in the western Sichuan. The movement between the main faults made the crust stress adjust and concentrate, and finally a quite large energy are released by the earthquake on the secondary fault in the block.

Key words: seismic intensity; isoseismal; ground failure; seismogenic structure; Yajiang-Kangding earthquake of $M6.0$