

常祖峰、张艳凤、周青云等, 2014, 2013年洱源 $M_s5.5$ 地震烈度分布及震区活动构造背景研究, 中国地震, 30(4), 560~570。

2013年洱源 $M_s5.5$ 地震烈度分布及震区活动构造背景研究

常祖峰¹⁾ 张艳凤¹⁾ 周青云¹⁾ 虎雄林¹⁾ 臧阳²⁾

1) 云南省地震局, 昆明市北市区北辰大道 650041

2) 云南大学, 昆明 650091

摘要 2013年洱源 $M_s5.5$ 地震震区地质构造复杂, 发育有NW向和NE向2组活动断裂。据野外调查和探槽揭示, 震中附近的维西-乔后断裂为晚第四纪活动断裂, 其新近活动时代主要在晚更新世晚期, 全新世仍有较明显的活动迹象, 运动性质以右旋走滑为主兼有正断。此次地震等烈度线呈NNW向的椭圆形展布, 极震区达Ⅶ度, 长15km, 宽10km, 面积约279km²。震源机制解显示: 该震源断层为正断兼走滑破裂型, 与维西-乔后断裂的运动学特征基本吻合; 节面Ⅱ为NW向, 与维西-乔后断裂走向基本一致。结合地震烈度分布、滑坡崩塌体分布和微震分布特征等分析推断, 此次地震的发震构造应为维西-乔后断裂。震区地处滇西北横断山脉腹地, 巨大的地形高差, 强烈的表层岩石风化, 是造成此次地震破坏较重的自然地理条件, 而居民房屋多为抗震性能差的土木结构和砖木结构等简易建筑, 是造成地震灾害加重的构筑物背景。

关键词: 2013年洱源5.5级地震 等烈度线 维西-乔后断裂 地震烈度 发震构造

[文章编号] 1001-4683(2014)04-0560-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2013年3月3日13时41分15秒(北京时间), 在云南省大理白族自治州洱源县炼铁乡长邑村(25.9°N, 99.7°E)发生 $M_s5.5$ 地震。洱源、漾濞、云龙等县的部分乡镇遭受不同程度破坏。据统计, 灾区总面积2081km², 地震导致30人受伤, 直接经济损失70800万元。极震区烈度达Ⅶ度, 宏观震中位于炼铁乡前甸村委会至江旁村委会一带, 等震线形状呈椭圆形, 长轴走向NW。

主震后的2013年4月17日9时45分54秒, 又发生 $M_s5.0$ 地震。洱源、漾濞、云龙和大理等县(区)的部分乡镇遭受不同程度破坏, 此次地震中又有14人受伤。该次 $M_s5.0$ 地震微观震中位于3月3日 $M_s5.5$ 地震震中东南方4.6km处(25.9°N, 99.8°E), 2次地震间隔45天, 为主-余震型地震序列。2次地震灾区重叠, 震害叠加, 新的震害与已有震害难以精确

[收稿日期] 2013-12-10; [修定日期] 2014-12-16

[项目类别] 国家自然科学基金项目(41472204)、地震行业专项(201108001)资助

[作者简介] 常祖峰, 1966年生, 高级工程师, 主要从事地震地质和活动构造研究。E-mail: zufch@163.com

区分。经评估,2 次地震综合震灾直接经济损失为 91678 万元。本文在野外调查的基础上,归纳总结了地震的基本参数、烈度分布以及震区构造活动特征,并对其发震构造进行了研究。

1 地震基本参数

2013 年 3 月 3 日 $M_s5.5$ 地震和 4 月 17 日 $M_s5.0$ 地震的微观震中与宏观震中基本一致,均位于洱源县炼铁乡长邑村一带,主要参数见表 1。

表 1 洱源 $M_s5.5$ 、 $M_s5.0$ 地震参数

发震时间 (年-月-日,时:分)	震中位置		震级 M_s	震源深度 (km)
	北纬	东经		
2013-03-03,13:41	25.9°	99.7°	5.5	9
2013-04-17,09:45	25.9°	99.8°	5.0	11

中国地震局地震预测研究所震后公布了利用 2 种算法得到的主震的震源机制解(表 2)(<http://www.seis.ac.cn/>)。文中 TDMT(Time Domain Moment Tensor)法系采用波形进行反演的时间域矩张量反演方法,常被用来计算中小地震运动参数(张丽芬等,2013)。表 2 给出了应用该方法计算了 3 个台站的 3 分量波形数据,得到的震源机制解为:节面 I 走向 16°,倾角 56°;节面 II 走向 138°,倾角 51°;P 轴走向 344°,倾角 56°。而结合近震和区域地震记录的 CAP(Cut and Paste)方法(Zhao et al,1994;Zhu et al,1996;韦生吉等,2009;黄建平等,2009)则主要通过分别拟合体波和面波波形,求取 $M > 3.5$ 地震的双力偶震源机制解(刘宁等,2011),该方法在震源机制的确定上获得了广泛的应用(吕坚等,2008)。表 2 给出了利用 CAP 方法时使用了 12 个均匀包围震中台站的 3 分量波形数据,波形拟合结果较好,得到的震源机制解为:节面 I 走向 0°,倾角 46°;节面 II 走向 161°,倾角 45°;P 轴走向 349°,倾角 81°。尽上述 2 种方法得出的震源机制解结果有一定差异,但总体上显示出 P 轴方位为 NNW 向,倾角较陡,T 轴方位为近 EW 向,倾角近水平的正断层兼走滑型的震源破裂。

表 2 2013 年 3 月 3 日 $M_s5.5$ 地震震源机制解

方法	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		资料来源
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	走向	倾角	
TDMT	16°	56°	-49°	138°	51°	-134°	344°	56°	78°	2°	(http://www.seis.ac.cn/)
CAP	0°	46°	-77°	161°	45°	-100°	349°	81°	80°	0°	

2 地震烈度及其分布特征

2.1 震区自然地理条件

震区地处滇西北横断山脉腹地的点苍山西北麓,属中山-高山地貌区,地形高差巨大,点苍山最高海拔 4221m,澜沧江支流的漾濞江海拔为 1450 ~ 1650m,相对高差约 2500 ~ 2800m。境内主要分布有中生界碎屑岩、古生界碳酸盐岩以及元古界变质岩,岩石表层风化强烈,风化壳厚度数米 ~ 数十米。气候属北亚热带高原季风气候。年平均气温 13.9℃,年

降雨量 732mm。

2.2 房屋分类及破坏等级划分

2.2.1 房屋分类

灾区房屋建筑按结构类型可分为土木结构、砖木结构、砖混结构、框架结构等 4 类。

① 土木结构:主要为木屋架土坯墙或夯土墙瓦顶房。此类房屋多数由木屋架承重,土坯墙或夯土墙起围护作用。

② 砖木结构:主要为木屋架砖墙瓦顶房或砖墙“人”字型木架瓦顶房,由木屋架或砖柱、砖墙承重。

③ 砖混结构:主要由砖墙承重,预制板或钢筋混凝土现浇楼板及屋顶。

④ 框架结构:钢筋混凝土梁柱承重,现浇楼板或屋顶盖。

震灾区属于边远贫困山区(洱源、漾濞、云龙等 3 县均为国家级重点扶贫开发县),交通条件差,经济水平低。根据当地政府部门提供的灾区(评估区)基本情况可知,90%以上的房屋为土木结构或砖木结构(表 3)。

表 3 评估区建筑面积统计(单位:m²)

评估区分类	行政区	框架结构	砖混结构	砖木结构	土木结构
评估区 1 (Ⅶ度区)	洱源县	8324	31804	170418	866828
	漾濞县	—	1479	3308	71661
	小计	8324	33283	173726	938489
评估区 2 (Ⅵ度区)	洱源县	19908	218116	601564	2031597
	漾濞县	802	33592	21371	377140
	云龙县	—	9579	31280	570056
	小计	20710	261287	654215	2978793
总计		29034	294570	827941	3917282

2.2.2 房屋破坏等级

根据震区房屋破坏情况和云南历次地震震灾评估经验,参照《地震现场工作第 4 部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4-2005)中房屋破坏等级划分标准,确定了房屋破坏等级具体的划分。

框架结构、砖混结构划分为 5 个破坏等级:

① 基本完好(含完好):砖混及框架结构房屋非承重构件轻微裂缝,不加修理可继续使用。

② 轻微破坏:砖混及框架结构房屋个别承重构件轻微裂缝,非承重构件明显裂缝;不需修理或稍加修理可继续使用。

③ 中等破坏:砖混及框架结构房屋承重构件轻微破坏,局部有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重;需要一般修理后方可使用。

④ 严重破坏:砖混及框架结构房屋承重构件多数破坏严重,难于修复。

⑤ 毁坏:砖混及框架结构房屋承重构件多数断裂,结构濒于崩溃或已倒塌,无法修复。

对于简易房屋(砖木结构和土木结构),将毁坏、严重破坏合并为毁坏,将中等破坏、轻微破坏合并为破坏后划分为 3 个破坏等级:

① 基本完好(含完好):土木结构房屋个别掉瓦或墙体细裂;砖木结构房屋非承重构件

轻微裂缝。

② 破坏:土木结构和砖木结构房屋的非承重构件如围护墙体明显裂缝或严重开裂、甚至局部倒墙,普遍梭瓦或明显掉瓦。修理后可使用。

③ 毁坏:土木结构和砖木结构房屋 2 面以上墙体倒塌,屋架明显倾斜或倒塌,屋顶盖坍塌或完全倒塌;承重构件多数断裂或破坏严重,结构濒于崩溃。修理困难或无法修复。

2.3 地震烈度分布特征

地震破坏情况(地震烈度)主要以房屋、地面和山体破坏及人体感觉为主要划分标志,与震区地形地貌条件、自然地理条件(降水强度、岩石结构和风化强度)、震源深浅等因素密切相关。3 月 3 日 5.5 级地震后,现场工作队给出了地震烈度分布图(图 1(a));其后 4 月 17 日发生的 5.0 级地震与 5.5 级地震震中区基本重合,2 次地震的破坏彼此叠加难以区分,图 1(b)为 2 次地震的综合地震烈度分布图。5.5 级主震和序列中 2 次地震综合等震线均呈椭圆形分布,长轴方向为 NNW 向。

2.3.1 VII 度区(极震区)

主要分布在云南省洱源县、漾濞县境内,东起洱源县炼铁乡月亮坪村以西,西至西山乡黑树坪村-多衣树村附近,北至炼铁乡上江咀村附近,南到西山乡勒登村-漾江镇冷洞村一带,呈长轴为 NNW 向的椭圆形,长 15km,宽 10km,面积约 279km^2 (周光全,2013)。其内的土木和砖木结构、围护土坯墙(或夯土墙)地震时多向外倾倒,部分墙体局部倒塌,多数墙体开裂,缩瓦,少数地基开裂或不均匀沉降;砖混结构房屋个别地基不均匀沉降,墙体有贯通裂缝,少数墙体开裂明显;框架结构房屋少数填充墙开裂、抹灰层或装饰层脱落。

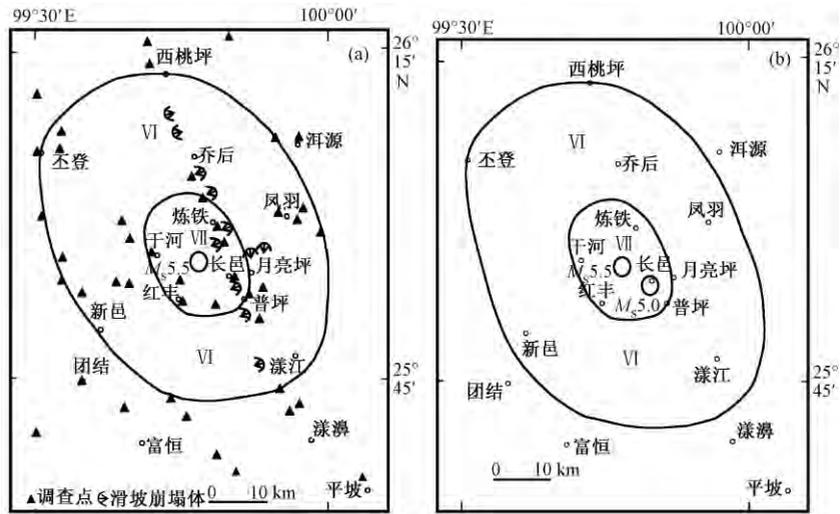


图 1 地震烈度分布图

$M_s 5.5$ 地震烈度分布(a); $M_s 5.5$ 和 5.0 复合地震烈度分布(b)

2.3.2 VI 度区

VI 度区呈长轴为 NNW 向的椭圆,长 45km,宽 30km,东起洱源县右所镇海棠村,西至云龙县关坪乡温坡村-长新乡丕登村一带,北至乔后乡西桃坪村,南抵漾濞县富恒乡白莽村附

6 级左右地震。NW 向的红河断裂是云南地区著名的全新世活动断裂,规模宏大,同时它作为川滇菱形块体的西部边界断裂,长期以来备受关注。据沉积建造、岩浆活动、构造变形、地球物理等方面的研究(阚荣举等,1986;钟大赉等,1989)认为,红河断裂带也是一条经历长期演化的块间构造变形带。新构造时期以来,它又经历了早期(古近纪)的大型左旋剪切运动和后期(新近纪以来)的右旋走滑运动(向宏发等,2004),其晚第四纪滑动速率可达 $7 \sim 8 \text{ mm/a}$ (虢顺民等,2001;Leloup, et al,1995)。沿断裂历史上发生多次 7 级左右地震,最大地震为 1925 年大理 7 级地震。此次双震震中附近与之平行延伸的维西-乔后断裂在晚第四纪同样表现出明显的活动性,下面对其进行重点阐述。

3.2 维西-乔后断裂晚第四纪活动的地质证据

维西-乔后断裂,北起维西北澜沧江边白济汛一带,向南沿雪龙山东麓,经通甸、马登,沿弥沙河至乔后,再经漾濞江过炼铁、漾濞、平坡,终止于巍山盆地南,全长约 280km。总体走向北西,倾向 NE 或 SW,倾角 $50 \sim 70^\circ$ 。航、卫片上断层线性影像特征清晰。沿断裂发育有维西、稗子沟、通甸、上兰、马登、乔后、炼铁、巍山等多个新近纪-第四纪盆地。早期活动性质以挤压为主,晚第四纪以来则以右旋走滑为主兼张性正断,控制了维西、马登、乔后等第四纪盆地的发育,为晚更新世~全新世活动断裂。在后甸、上太平、黄花场一带,水系右旋位错量分别为 300、200 和 150m。据水系断错量的统计分析和测年结果推断,晚更新世晚期(距今 3 万年)以来,断裂平均水平滑动速率为 2.6 mm/a (国家地震局地质所等,1990)。该断裂历史上发生过 1948 年上兰 $6 \frac{1}{4}$ 级地震。

震中所在的乔后以南段,同样表现为明显的活动特征。长邑附近普坪村探槽揭示出断层晚更新世晚期以来活动特征(图 3)。探槽位于普坪村平直的断层槽地内,微地貌上断层新活动特征明显。探槽长 20m、深 4m、宽 3m、走向推断为 80° 。SE 壁和 NW 壁均揭示出断层的存在。断层位于断层陡坎下方,断错了晚更新世晚期的洪积物,被错地层 C^{14} 测年结果(美国 Beta 实验室)为 $(13600 \pm 50) \text{ a BP}$,表明断裂在晚更新世晚期以来有过明显活动。需要说明的是,探槽剖面上显示的逆冲错距是断裂走滑运动伴生的产物。

震中附近的大邑坪-罗锅坪一带发育全新世的洪积扇堆积,其 C^{14} 测年结果(美国 Beta 实验室)为 $(2660 \pm 30) \text{ a BP}$,在断层通过处发育有长约 1km 平直的断层陡坎,陡坎高 $8 \sim 10 \text{ m}$ 。从微地貌分析,此陡坎是断层全新世以来正断运动的结果。

乔后南东 2km 公路旁见断层发育在卵砾石组成的澜沧江支流漾濞江 T_3 阶地上(图 4),断层面上发育有厚约 10mm 的片理化带。根据区域测年研究成果,澜沧江、金沙江支流 T_2 阶地的年龄为 $9 \sim 10 \text{ ka BP}$ (计凤桔等,2000),由此推测 T_3 阶地形成于 30 ka BP 左右,为晚更新世晚期堆积。

炼铁盆地南缘茄叶村一带见断层发育在汇合江的 T_3 阶地上(图 5),砾石层较松散,砂层光释光测年结果为 $(55.1 \pm 2.6) \text{ ka BP}$ 。砾石层中夹砂层及砂层透镜体被断层切穿,断层面平直,表明断裂在晚更新世有过活动。

据任俊杰等(2007)对平坡一带的研究成果,断裂以右旋走滑运动为主兼有张性正断性质,最新活动时代约 2.2 ka BP ,且全新世晚期以来垂直运动趋于增强。此结论与我们在大邑坪-罗锅坪一带调查发现的断层陡坎形成时代及全新世活动证据非常接近。在断裂北段

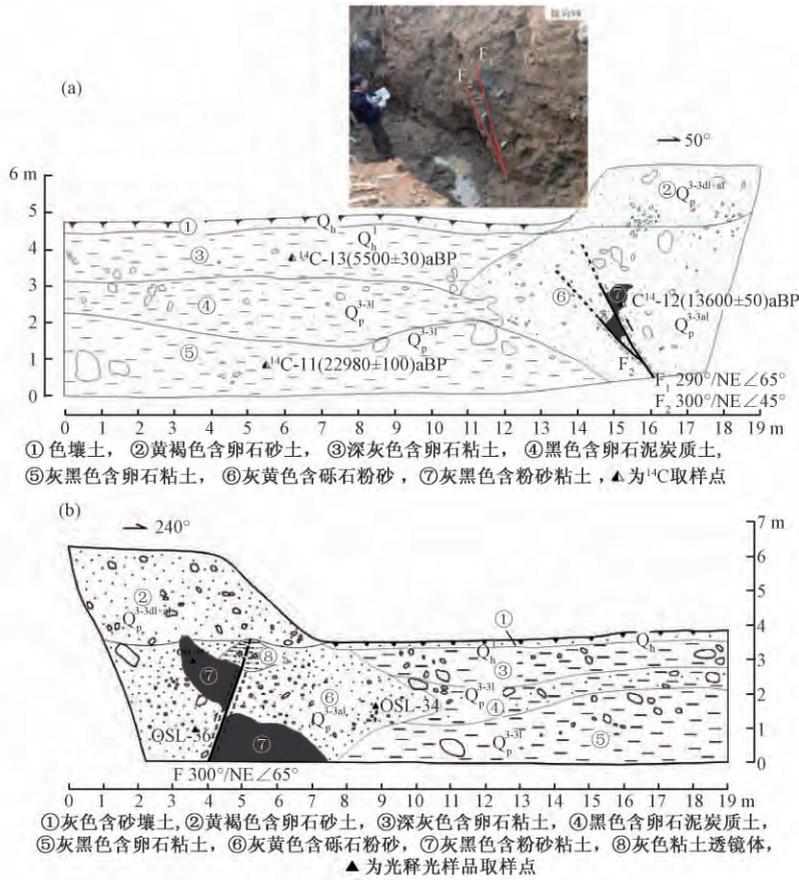


图3 NW壁剖面(镜向NW)(a),SE壁剖面图(b)

玉狮场一带(震区外),经探槽开挖同样揭示出全新世活动迹象。

综上所述,该断裂新活动时代主要在晚更新世晚期,全新世仍有明显的活动迹象,运动性质以右旋走滑兼正断为主,具有与红河断裂相似的运动学特征。

3.3 发震构造讨论

中强地震的发生往往与该地区的构造特征密切相关,因此,地震现场的一些宏观表现为地震发震构造以及动力学特征的综合研究提供了可靠的、直接的证据(Darka, 1996)。尽管有时因震级相对较小没有形成地震地表破裂带,但特定条件下,依据震源机制解震源力学特征、地震造成的直接宏观震害及其线性分布特征和地质构造条件等,仍有可能对其发震构造进行分析探讨。

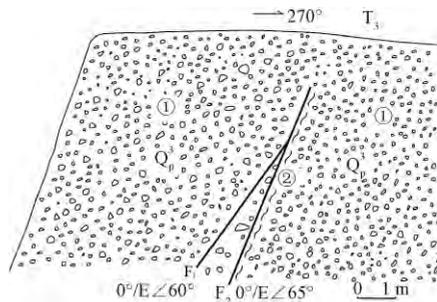


图4 乔后南东2km公路旁断层剖面
①灰褐色卵砾石层,②片理化带

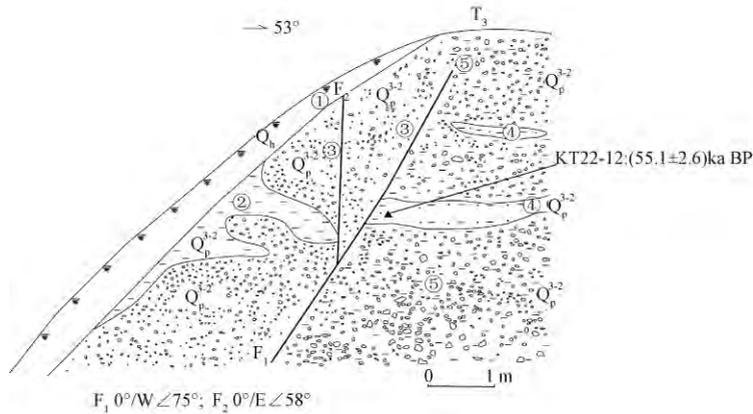


图 5 茄叶村断层剖面

①色壤土层,②褐黄色粘土层,③褐红色砂砾层,④褐黄色含粘土砂层,
⑤褐红色含粘土砾石层,▲为光释光样品采样点

3.3.1 震源机制解

震源机制解不仅可用于分析判断地震时的应力状态,也有助于分析发震构造的力学破裂性质、震源运动特征和发震构造类型等。本次地震主震的震源机制表明:P轴为倾角较陡的NNW向,T轴为近水平的近EW向,其中的一个节面(节面II)为NW向。在此应力状态下,沿节面II易产生正断兼右旋走滑型破裂。节面II的走向与维西-乔后断裂一致,且地震破裂型式与断裂的运动学特征基本一致。据此推断,此次地震应为维西-乔后断裂活动所致。

3.3.2 地震烈度和滑坡崩塌体分布特征

地震烈度呈现长轴为NNW向的椭圆形分布,长轴方向与维西-乔后断裂展布方向基本一致,且宏观震中和极震区均沿断裂线展布。此次地震造成的滑坡崩塌体沿普坪-乔后一线呈NW向展布,与维西-乔后断裂走向基本一致。据地震烈度分布和滑坡崩塌体线性特征分析,此次地震的发震构造为维西-乔后断裂。

3.3.3 微震活动

我们对震区2013年2月15日~2013年4月30日微震活动进行了统计(图6),其间共发生 $M_L 1.0 \sim 1.9$ 地震369次, $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震66次, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震16次, $M_L 4.0 \sim 4.9$ 地震1次,呈现出明显的NW向和NE向2个条带。微震分布集中在NW向条带中,与维西-乔后断裂近平行展布,微震活动分布情况也显示与此断裂活动有关。NE向条带沿鹤庆-洱源断裂展布,可能是维西-乔后断裂发生主震后,触发了鹤庆-洱源断裂的活动,这种现象也常见于其它地震序列中。

4 结语

(1)震区地处滇西北横断山脉腹地,巨大的地形高差和强烈的表层岩石风化是造成此次地震破坏较重的地质地貌因素。震灾区为边远贫困山区,居民房屋大多为土木结构和砖木结构为主的简易建筑,抗震性能差,成为地震灾害加重的建筑物抗震性能因素。加大对偏

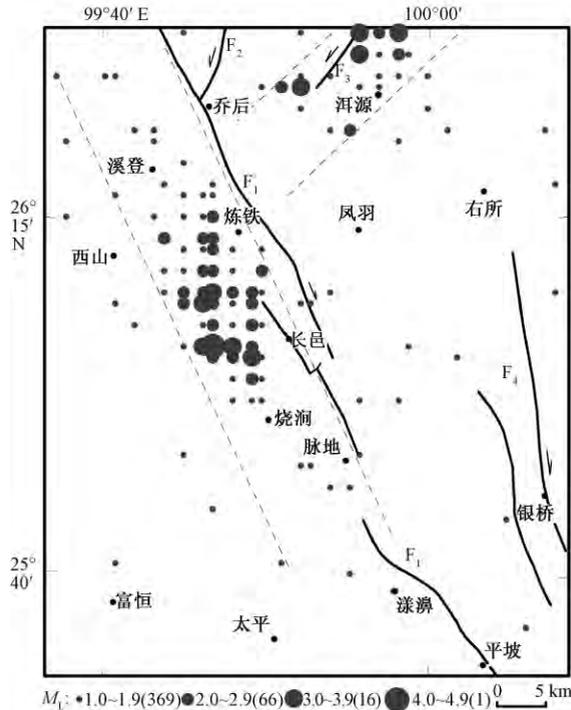


图6 震区微震活动分布(震级为 M_s ,括号内为地震数目)

远贫困地区农村的基础性投入,改善农村成为居住环境,提高民居建筑抗震性能,对减轻震灾损失意义重大。

(2)地震烈度区呈长轴 NNW 向的椭圆形,极震区达 VII 度,长 15km,宽 10km,面积约 279km²;VI 度区长 45km,宽 30km,面积约 2109km²。

(3)震区地质构造复杂,发育有 NW 向和 NE 向 2 组活动断裂。根据野外调查结果和探槽揭露,维西-乔后断裂为晚第四纪活动断裂,具右旋走滑兼正断性质,其新活动时代主要在晚更新世晚期,全新世仍有较明显的活动迹象。除 2013 年 5.5 和 5.0 级地震外,震中附近尚发生过 1975 年 9 月 4 日 5.0 级地震(25.83°E,99.83°N)和 1977 年 3 月 17 日 5.2 级地震(25.85°E,99.85°N),这些中强地震的发生,均与维西-乔后断裂的活动密切相关。

(4)据震源机制解、地震烈度分布、滑坡崩塌体分布及微震分析特征等分析推断,此次地震的发震构造为维西-乔后断裂。

参考文献

国家地震局地质所、云南省地震局,1990,滇西北地区活动断裂,北京:地震出版社。

魏顺民、计凤洁、向宏发等,2001,红河活动断裂带,北京:海洋出版社。

黄建平、倪四道、傅容珊等,2009,综合近震及远震波形反演 2006 文安地震(M_s 5.1)的震源机制解,地球物理学报,52(1), 120~130。

计凤桔、郑荣章、李建平等,2000,滇东、滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究,地震地质,22(3),265~276。

阚荣举、林忠洋,1986,云南地壳上地幔构造的初步研究,中国地震,2(4),50~61。

- 刘宁、陈棋福、韦生吉,2011,地震震源运动学参数获取方法研究进展,中国地震,27(1),29~38。
- 吕坚、郑勇、倪四道等,2008,2005 年 11 月 26 日九江-瑞昌 M_s 5.7、 M_s 4.8 地震的震源机制解与发震构造研究,地球物理学报,25(1),158~164。
- 任俊杰、张世民、侯治华等,2007,滇西北通甸-巍山断裂中段的晚第四纪滑动速率,地震地质,29(4),756~764。
- 韦生吉、倪四道、崇加军等,2009,2003 年 8 月 16 日赤峰地震:一个可能发生在下地壳的地震?地球物理学报,52(1),111~119。
- 向宏发、韩竹军、魏顺民等,2004,红河断裂带大型右旋走滑运动与伴生构造地貌变形,地震地质,26(4),43~56。
- 张丽芬、姚运生、廖武林,2013,2011 年 M_s 4.6 瑞昌-阳新地震的震源机制及发震构造探讨,地震地质,35(2),290~299。
- 钟大赉、Tapponnier P、吴海威等,1989,大型走滑断层-碰撞后陆内变形的重要形式,科学通报,(7),526~529。
- 周光全,2013,云南灾害评估与恢复重建规划主要技术指标,地震研究,36(2),207~214。
- Darka A,1996,Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939~1967, Bull Seism Soc Am, 86(5), 1238~1254.
- Leloup P H, Lacassin R, Tapponnier P, et al, 1995, The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan China), Tertiary transform boundary of Indochina, Tectonophysics, 251, 3~84.
- Zhao L S, Helmberger D V, 1994, Source estimation from broad-band regional seismograms, Bull Seism Soc Am, 84(1), 91~104.
- Zhu L, Helmberger D V, 1996, Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, 86(5), 1634~1641.

Intensity distribution characteristics and active tectonic background in area of the 2013 Eryuan M_s 5.5 earthquake

Chang Zufeng¹⁾ Zhang Yanfeng¹⁾ Zhou Qingyun¹⁾ Mao Xionglin¹⁾ Zang Yang²⁾

1) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650041, China

2) Yunnan University, Kunming 650091, China

Abstract The geological structure of the Eryuan M_s 5.5 earthquake area is complex, with the two fault groups striking NW and NE. The field investigation and exploratory trench showed that the Weixi-Qiaohou fault nearby the epicenter is one of the late Quaternary, with its new activities mainly in late Pleistocene. The signs of its activities can be found in Holocene, The movement is mainly of right lateral slipping with some normal faulting. The seismic intensity of this earthquake distribute as an ellipsoid with a NNW direction, and the intensity of meizoseismal area is up to VII, with a total area of around 279km², 15km in length and 10km in width. The focal mechanism result reveals that the earthquake source is in normal faulting and strike slipping, consistent with the kinematics characteristics of the Weixi-Qiaohou fault, and that the nodal section II has a NW direction, basically consistent with the strike of the Weixi-Qiaohou fault. Combining with the distribution features of seismic intensity, the landslide and collapse, and micro earthquake, we believed that the earthquake was generated by the Weixi-Qiaohou fault. The earthquake area is located in the interior of the Hengduan Mountains, northwestern Yunnan. The great terrain relief and the intense weathering of the surface rock are the physical geography situation of the serious

damage. The inhabitant is living in simple mud-wood structure or brick-wood structure building with poor seismic performance, and it is the social reason of the serious damage. In order to decrease earthquake losses, we need to increase the infrastructure in the remote rural areas, to improve the living environment in the countryside, and to enhance the seismic performance of the residential building.

Key words: Weixi-Qiaohou fault Focal mechanism solution Seismic intensity
Seismogenic structure