

对汶川地震宏观震中和极震区的认识

李志强¹⁾ 袁一凡²⁾ 李晓丽¹⁾ 何 萍³⁾

1) 中国地震局地质研究所, 北京 100029

2) 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080

3) 广东省地震局, 广州 510070

摘 要 汶川 8.0 级地震是近 30 年来世界范围内最严重的地震灾害之一。在大量的现场实地调查基础上, 对汶川地震的极震区和宏观震中分布点进行了初步的研究, 分析认为汶川地震极震区与地表破裂带关系极为密切, 极震区烈度为 XI 度, 表现为强烈的带状分布; 宏观震中与传统的宏观震中的认定有较大的区别, 不再是一个点, 而是一组点。汶川县漩口镇蔡家杠村是宏观震中在西南段的起点, 中间经由汶川县映秀镇、银杏乡, 都江堰市虹口乡北部, 彭州市小鱼洞镇北部、龙门山镇北部, 什邡市红白镇北部, 到绵竹市清平乡截止, 跳过安县, 再由北川县擂鼓镇起至漩坪乡、北川县城曲山镇、北川县陈家坝乡、平武县平通镇、南坝镇北部截止。宏观震中区是一条狭长的中间断开的线或窄带, 这将在很大程度上影响我们对灾区的总体认识。

关键词 汶川地震 极震区 宏观震中

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 4967(2008)03 - 0768 - 10

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川汶川县映秀镇(31.0°N, 103.4°E; 仪器震中)发生了 8.0 级特大地震, 震源深度约为 14km, 在 90s 时间内完成了地震主要能量的释放。

这次地震释放出巨大的能量影响了中国大陆及附近地区, 距离汶川 1 900km 的台湾岛上高层建筑上也感受强烈, 地震波引起的强烈地面振动造成了大量的房屋倒塌, 近 7 万人死亡, 近 2 万人失踪, 数百万人失去住所。地震还引发了数以万计的山崩、滑坡、塌方、泥石流等严重地质灾害, 毁坏了交通、通讯等生命线系统, 并形成了众多的堰塞湖, 对下游的人民群众造成了极大的威胁。

地震发生后, 中国地震局迅速调集各单位人员组成国家地震现场应急工作队和国家地震灾害紧急救援队奔赴灾区, 于当晚 23 时抵达灾区并立即开展了紧急救援、地震现场应急和科学考察工作。作者全程参加了汶川地震灾害现场调查, 并于 2008 年 7 月初进行了较大规模的烈度复核工作。地震灾害调查按照国家标准(尹之潜等, 2001)的要求进行, 取得了丰富的资料和成果, 获取了众多极震区破坏、宏观震中的最新认识。

汶川地震造成的大面积破坏和巨大损失, 使极震区与宏观震中的认定产生了诸多争论, 本

[收稿日期] 2008 - 08 - 15 收稿, 2008 - 08 - 25 改回。

[基金项目] 中国地震局汶川 8.0 级地震应急科学考察项目资助。

文试图结合实际现场工作与国家地震现场紧急工作队的众多科考成果,对汶川地震极震区与宏观震中予以说明。

1 汶川地震过程

在地震发生的短短一分多钟时间内,地壳深部的岩石中形成了一条长约 300km、深达 30km 的大断裂(陈运泰,2008),其中的 240km 出露地表,形成沿映秀-北川断裂分布的地表破裂带。该带从映秀镇以南开始向 NE 方向延伸,经北川县,过平通镇和南坝镇,终止在青川县的石坎乡附近。龙门山与成都平原交界处的灌县-江油断裂发生了另外一条长约 72km 的地表破裂(徐锡伟等,2008)。

通过地震波反演获得的沿地震断裂面的位移分布表明,破裂带南段的映秀镇和中北段的擂鼓镇-北川县城一带的位移量最大(陈运泰,2008),地表地震地质调查证实了这一点,这 2 个地段可能是能量释放最集中的地方,地震灾害也最严重。

汶川大地震的主断层是 NE-SW 走向($N45^{\circ}E$),倾角约 39° ,以逆冲为主,有少量右旋走滑分量的断层。在 90s 的时间内的破裂过程至少明显分为 3 个主要破裂段,这 3 个破裂段分别是:映秀段,逆冲为主兼少量的右旋走滑分量;北川段,逆冲-右旋走滑的断层错动;青川段,以右旋走滑为主兼少量的逆冲分量。汶川地震以不对称双侧破裂的方式以映秀为中心朝 NE 与 SW 方向传播,历时 90s。朝 NE 方向强的破裂持续时间长(约 90s),朝 SW 方向明显较弱,破裂持续时间较短(约 60s),但实际上地表震害表现为以映秀为中心 NE 方向的单侧破裂(陈运泰,2008)。

2 汶川地震极震区震害现场调查

在地震灾区的大规模考察中,我们发现存在一个狭长的极震区,该极震区跨越接近 200km 的距离,总体走向为 $N45^{\circ}E$,以汶川县漩口镇为西南部起点,经都江堰市虹口镇北部、彭州市小鱼洞镇和龙门山镇、什邡市红白镇北部,到绵竹市汉旺镇北部。安县不属于极震区。再由北川县擂鼓镇起,经漩坪镇、曲山镇、陈家坝乡,过平武县平通镇,至南坝镇。

从图 1 可以看出,XI 度区的极震区分为狭长的 2 块,西南块以映秀、龙门山北为中心,平均海拔 2 000~3 000m,除映秀、银杏乡所在的岷江附近外,其它的居民点均在该区块的边缘,绝大部分无人居住,属于高山峡谷地貌。东北块以北川曲山镇-平武南坝镇为中心,平均海拔 1 000~2 000m,其中有多条河流穿过,居民点较多,依然属于高山峡谷地貌,但坡度要缓于映秀块。

极震区内存在多个破坏最严重的点,以下分别介绍:

(1)漩口镇。据阿坝州防震减灾局局长介绍,漩口镇有 1 个“喷花岗岩”的山谷,被认为是宏观震中所在地。经实地调查,该区域位于漩口镇何家山蔡家杠村($31^{\circ}2.4'N,103^{\circ}27.6'E$)的 1 个支沟中,山体滑坡十分严重,支沟中有一处较大的喷砂冒水遗迹。经调查认为是地震造成的严重的滑坡引发了大规模的碎屑流,由支沟向主沟冲出,在支沟沟口附近的主沟形成了 1 个深 20m 的小规模堰塞湖,碎屑流在主沟倾泻和堆积,造成了主沟内居民的严重伤亡。碎屑流的岩石主体为花岗岩和页岩,均为构成山体的主要物质。初步判定无“喷石头”现象,应该是地震中大量的石块和风化壳同时滚落,扬起了大量的烟尘,部分石头可能由沟底反弹,同时在沟底发

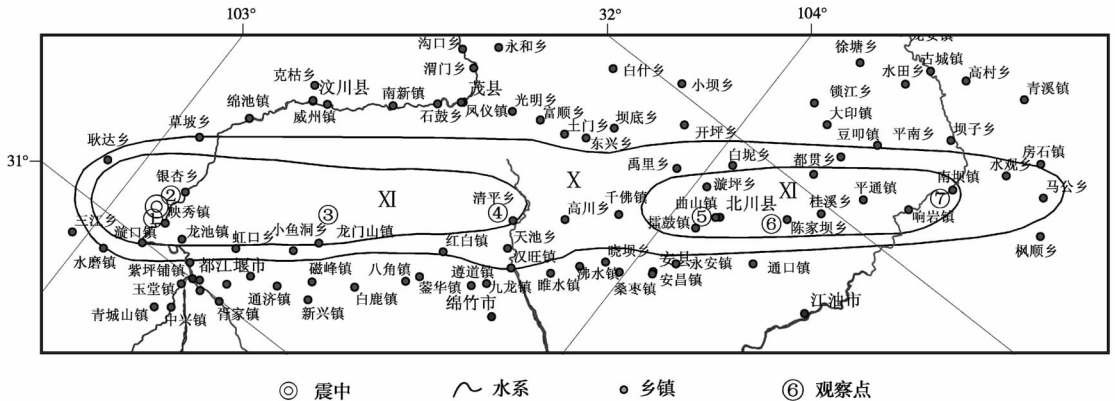


图1 汶川地震极震区烈度等震线图

Fig. 1 Isoseismal of seismic intensity for the meizoseismal region of Wenchuan earthquake.

生了较大规模的喷砂冒水,给人以很大的石头喷出的感觉,应该属于比较正常的地震滑坡地质现象(照1,2)。

这个主沟同时也是映秀-北川断裂穿过的地方。主沟内的碎屑流掩盖了主断层。

(2)汶川县银杏乡。由映秀沿岷江向上游,沿国道213途经银杏乡、草坡乡、棉虎镇至汶川县城威州镇一带,映秀-银杏-草坡为汶川地震中交通线破坏最为严重的区域,超大规模的滑坡彼此相连,滑坡面积占全部山坡面积的70%以上,部分区域甚至可以达到90%,植被大规模破坏,在当地看不见完整的房屋。农田基本丧失殆尽,形成多处堰塞湖,至今道路仍处于抢修状态(照3,4)。

(3)彭州市龙门山镇。彭州市龙门山镇以北区域,龙门山、九峰山道路严重损毁,大规模的山体滑坡使两侧山体把沟底彻底掩埋;龙门山镇大龙潭就破坏而言已达到XI度(照5,6)。

(4)绵竹市清平乡。大规模的山体滑坡使清平乡政府所在的两侧山体接近合二为一,损失极为惨重(照7)。

(5)北川县城曲山镇。遭受彻底毁坏的北川县城曲山镇是本次汶川地震中损失最大、破坏最严重的区域(照8)。巨大的滑坡是损失加重的重要原因。库容最大时达到2亿 m^3 的唐家山特大堰塞湖距曲山镇仅3km。曲山镇内有多处断层出露点(徐锡伟等,2008)。

(6)北川县陈家坝乡。北川县陈家坝乡发生的巨大滑坡群:陈家坝所在谷口的滑坡长1.2km,宽2km,2个村庄随山坡滑落至河谷;陈家坝乡杜家坝村滑坡长800m,宽1000m,掩埋了该村2个村民小组;四沟口村左岸滑坡长1.2km,宽500m,掩埋十数户民居。此外,这些巨大滑坡形成了数个堰塞湖(照9,10,11)。

(7)平武县南坝镇。平武县南坝镇房屋震害非常严重,山体滑坡比较普遍(照12,13)。南坝镇内有多处断层出露点(徐锡伟等,2008)。

3 认识与讨论

按《防震减灾术语》(李裕澈等,2005)的解释,宏观震中是极震区的几何中心。从几何学来说一个区域只能有一个中心,所以宏观震中也只能有一个。从物理含义来说,宏观震中对应着



照 1 汶川县漩口镇蔡家杠村支沟巨大的滑坡、地震碎屑流(镜向:NW)

Photo 1 Huge landslides, earthquake clastic flows in Caijiagang village of Xuankou town, Wenchuan county (view to NW).

此地被认为是宏观震中的西南端



照 2 巨大的碎屑流和沿沟的滑坡将汶川县漩口镇蔡家杠村所在的主沟完全充满(镜向:NE)

Photo 2 Big clastic flows and landslides along the gully filling up the main gully at Caijiagang village (view to NE).

镜头所指方向为主沟出口,前方河流为岷江,隐约可见映秀镇,镜头后方 1.2km 为堰塞湖和照 1 的支沟



照 3 汶川县银杏乡支沟大规模滑坡(镜向:NW)

Photo 3 A large-scale landslide in the sub-gully in Yinxing town of Wenchuan county (view to NW).



照4 汶川县银杏乡和映秀镇之间巨大连续的滑坡形成了堰塞湖,原来的213国道和省道均不见踪迹(镜向:NE)

Photo 4 Huge and continuous landslides contributing to a quake lake between Yingxiu town and Yinxing town, submerging the national highway 213 and the provincial highway (view to NE).



照5 彭州市龙门山镇大龙潭房屋毁坏和山体滑坡(镜向:NE;李亦刚摄)

Photo 5 The damaged buildings and landslides in Dalongtan village of Longmenshan town, Pengzhou city (view to NE).



照6 彭州市银厂沟九峰山村泥石流(镜向:NW;李亦刚摄)

Photo 6 Mud-rock flow in Jiufengshan village of Pengzhou city (view to NW).



照7 汉旺通往清平乡的公路,已经完全找不到公路所在(镜向:NW)

Photo 7 The road from Hanwang town to Qingping town, which can be found nowhere now (view to NW).



照 8 北川县城内唯一一座外表看上去完整的房子(汶川地震现场考察队摄)

Photo 8 The one and only building in Beichuan county which appears to be in good condition judging from outside.



照 9 北川县陈家坝乡特大滑坡,掩埋了十数户民居(镜向:E)

Photo 9 The extra-large landslide in Chenjiaba town of Beichuan county, which buried ten more houses (view to E).



照 10 北川县陈家坝一个堰塞湖的上游部分(镜向:NW)

Photo 10 Upper reaches of a quake lake in Chenjiaba town of Beichuan county (view to NW).



照 11 北川陈家坝乡海光村断裂,以逆冲为主,轻微右旋,垂直断距约 3.5m(镜向:SW)

Photo 11 Fault of Haiguang village of Chenjiaba town, Beichuan county, mainly of thrust with small right-lateral strike slip, the fault throw is 3.5m (view to SW).



照 12 遭受严重破坏的平武县南坝镇场镇(镜向:W)

Photo 12 Seriously damaged Changzhen village of Nanba town in Pingwu county (view to W).



照 13 平武县南坝镇严重的滑坡(镜向:NE)

Photo 13 A destructive landslide in Nanba town, Pingwu county (view to NE).

震源沿断裂面在地表能量最大的释放点。

由于地震的能量主要沿断裂释放,极震区破坏很重。汶川地震的极震区是一个狭长的分为 2 段的窄带,由 2 块走向 NE 的细长条组成。极震区映秀段(起于汶川县漩口镇,终于绵阳清平乡)短轴直径约为 17km,长轴直径 97km;北川段(起于北川擂鼓镇,终于平武县南坝镇)短轴直径约为 15km,长轴直径 71km。这 2 个带都紧靠龙门山主断裂和山前断裂,沿断层走向分布,与地球物理反演得出的地震断层最大错动量核心区域(映秀镇以北区域)范围比较一致。极震区与地表出露的龙门山中央断裂和前山断裂在西南部分比较吻合,但是同样出露龙门山中央断裂的安县和南坝镇东北部分并不在极震区内,这与地球物理滑动量的反演结果比较一致。

汶川地震极震区由 2 个区块组成,按照一般宏观震中的定义将有 2 个宏观震中。

由地球物理观测到的破裂过程可以得出,实际上汶川地震是由一组由映秀镇开始沿断层向 N45°E 发展的破裂过程组成,也可以说,汶川地震是由比 8.0 级地震稍小的一组地震群组成。实际上,震级 >7 的中低震源深度的地震不能当作点模型,应采用线源模型,汶川地震就非常符合线状模型。

与之对应,汶川地震宏观震中不再是传统意义上的一个点,而是一组点,本文第 2 节描述这些考察点就是揭示这些宏观震中点的存在。与地表出露断层(徐锡伟等,2008)对比可以看出,这些宏观震中点与地表出露断层的对应关系比较好,可以认为被认定是宏观震中的点都是地表断层出露的地方(相反地,有地表断层出露的不都是宏观震中点),这个地方一般也是局部断层滑动量最大的区域。

这些考察点按照《中国地震烈度表》中 XII 度为“地面剧烈变化,山河改观”的说法,属于接近于 XII 度的烈度点。同时,这些考察点面积均不小,邻近点间都有相互连接的趋势。同时此次发震断层在地表有 2 条主要的地表破裂出露,这 2 条破裂相邻的考察点也有相互连接的趋势。这些宏观震中点在局部可以连成一个个分离的小段。基于以上认识,我们甚至可以认为汶川地震宏观震中是一组断续的窄带(图 2)。

说明宏观震中是一组窄带的另外一个理由是,汶川地震极震区表现为一长条带状,汶川地震灾区烈度衰减呈现非常明显的长矩形衰减模式,与我们常见的椭圆型衰减模式有较大的区

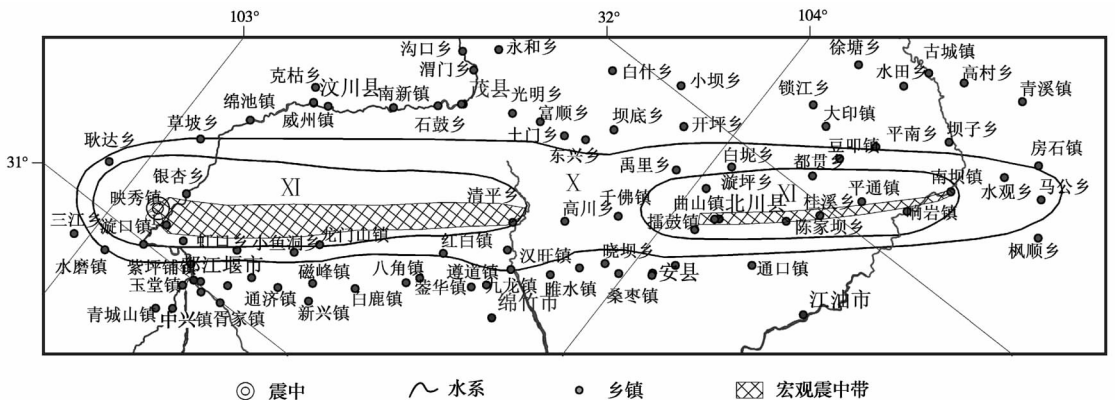


图 2 汶川地震宏观震中带分布图

Fig. 2 Distribution of the macro-epicenter of Wenchuan earthquake.

别。

汶川县漩口镇百花大桥附近蔡家杠村滑坡、碎屑流、堰塞湖极为发育,可以认为是宏观震中在西南段的起点,中间经由汶川县映秀镇、汶川县银杏乡、都江堰市虹口乡北部、彭州市小鱼洞镇北部、龙门山镇北部、什邡市红白镇北部,到绵竹市天池乡、清平乡,跳过安县,再由北川县擂鼓镇起,经漩坪乡、北川县城曲山镇、北川县陈家坝乡、平武县平通镇,至南坝镇北部。与震区相对应,宏观震中区是一条狭长的中间断开的线或窄带。

把汶川地震的宏观震中和极震区理解为一个狭长的线状和带状将在很大程度上影响我们对灾区总体的认识。如汶川地震发生后大部队在开始时均往映秀集结,救灾物资和大型工具也是往映秀集中,对北川、青川、乃至甘肃文县的巨大损失严重估计不足,影响了救灾效果。

认识到大地震可能普遍表现为一个线性宏观震中将对以后应对大地震具有重要意义,特别是在救灾重点的确定、救援工作开展方向、灾情评估和科学考察重点等方面。

感谢所有参加国家汶川地震现场应急工作队的同志们,文中第1部分和第2部分的部分研究参考了其他同事的考察成果。

参 考 文 献

- 陈达生,时振梁,徐宗和,等. 2004. 中国地震烈度表(GB/T 17742-1999)[S]. 北京:中国标准出版社.
- CHEN Da-sheng, SHI Zhen-liang, XU Zong-he, *et al.* 2004. The Chinese Seismic Intensity Scale [S]. Standards Press of China, Beijing (in Chinese).
- 陈运泰,许力生,张勇,等. 2008. 2008年5月12日汶川特大地震震源特性分析报告[R]. <http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf>.
- CHEN Yun-tai, XU Li-sheng, ZHANG Yong, *et al.* 2008. Report on the great Wenchuan earthquake source of May 12, 2008 [R]. <http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf> (in Chinese).
- 李裕澈,车用太,徐宗和,等. 2005. 防震减灾术语第2部分:专业术语(GB/T 18207.2-2005)[S]. 北京:中国标准出版社.
- LI Yu-che, CHE Yong-tai, XU Zong-he, *et al.* 2005. Terminology of Protecting Against and Mitigating Earthquake Disasters (Part 2): Special Technical Terms [S]. Standards Press of China, Beijing (in Chinese).
- 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 2008. 汶川 M_s 8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 30(3): 597—629.
- XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing, *et al.* 2008. The M_s 8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 30(3): 597—629 (in Chinese).
- 尹之潜,鄢家全,徐锡伟,等. 2004. 地震现场工作第3部分:调查规范(GB/T 18208.3-2000)[S]. 北京:中国标准出版社.
- YIN Zhi-qian, YAN Jia-quan, XU Xi-wei, *et al.* 2004. Post-earthquake Field Works (Part 3): Code for Field Survey [S]. Standards Press of China, Beijing (in Chinese).

SOME INSIGHTS INTO THE MACRO-EPICENTER AND MEIZOSEISMAL REGION OF WENCHUAN EARTHQUAKE

LI Zhi-qiang¹⁾ YUAN Yi-fan²⁾ LI Xiao-li¹⁾ HE Ping³⁾

1) *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

2) *Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China*

3) *Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China*

Abstract

The M_s 8.0 Wenchuan earthquake is one of the most devastating earthquakes in recent 30 years in the world. Based on a number of on-the-spot investigations, preliminary research on the macro-epicenter and meizoseismal region has been done. The analysis reveals that the meizoseismal region, whose intensity is XI and shows obviously zonal distribution, is controlled by the rupture process and there exists a close relationship between the meizoseismal region and the rupture zone. What's more, the macro-epicenter of Wenchuan Earthquake is quite different from those of previous earthquakes, not just one point any more but a group of points. This group of points begins from the village of Caijiagang of Xuankou town of Wenchuan county, passes through Yingxiu town, Yinxing town of Wenchuan county, the north of Hongkou town of Dujiangyan city, the north of Xiaoyudong town and Longmenshan town of Pengzhou city, the north of Hongbai town of Shifang city, and ends at Qingping town of Mianzhu city. Skipping over Anxian county, it continues from Leigu town of Beichuan county to Xuanping town, Qushan town, Chenjiaba town, Pingtong town of Pingwu county, and ends at the north of Nanba town. The shape of the macro-epicenter area of the Wenchuan earthquake can be considered as a narrow belt or line, broken in the middle. This point of view will influence our overall understanding of quake-hit areas to a great extent. Besides, the realization that the macro-epicenter of a severe earthquake probably presents like a line is of great significance when we cope with severe earthquakes later, especially when determining key relief areas, planning the relief work, evaluating the earthquake situation, identifying key areas of scientific investigation and so on.

Key words Wenchuan earthquake, the meizoseismal region, the macro-epicenter

[作者简介] 李志强,男,1969年生,1997年在中国地震局地质研究所获博士学位,研究员,主要从事地震灾害方面的研究工作,电话:010-62009090, E-mail: lzqh@ies.ac.cn。